

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-020411

(43)Date of publication of application : 26.01.1999

(51)Int.Cl.

B60C 11/03

(21)Application number : 09-172137

(71)Applicant : BRIDGESTONE CORP

(22)Date of filing : 27.06.1997

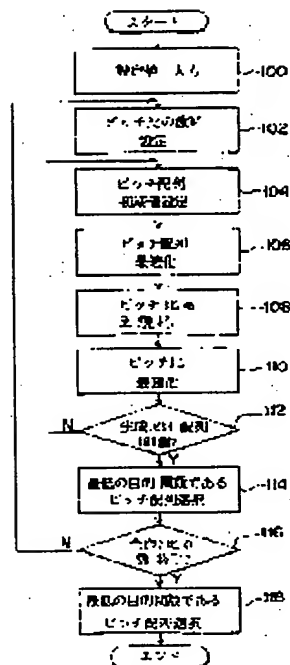
(72)Inventor : FUKAZAWA KATSUJI

## (54) PITCH ARRANGEMENT DETERMINING METHOD FOR TIRE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To efficiently and easily determine tire pitch arrangement improving tire noise property.

**SOLUTION:** The initial value of pitch arrangement is set according to the set value (S100-S104). A basic model of a tire on the initial value, an objective function indicating the tire noise performance evaluation physical quantity corresponding to tone quality, a design variable determining pitch arrangement, and a constraint condition constraining pitch arrangement are set, and the design variable is changed to determine such pitch arrangement that the value of the objective function is converged and minimized while satisfying the constraint condition (S106). While maintaining first and last pitch ratios on the determined pitch arrangement, pitch ratios between them are increased/decreased to determine such pitch ratios as to minimize the value of the objective function of tonality or the like (S108-S110). Pitch arrangement and a pitch ratio where the value of the objective function is lowest are selected from pitch arrangement to one hundred initial values (S112, S114).



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

28.05.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

# BEST AVAILABLE COPY

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

# BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-20411

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月26日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

B 6 0 C 11/03

識別記号

F I

B 6 0 C 11/03

A

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願平9-172137

(22) 出願日 平成9年(1997) 6月27日

(71) 出願人 000005278

株式会社ブリヂストン

東京都中央区京橋1丁目10番1号

(72) 発明者 深沢 勝司

埼玉県川越市古谷上6083-7 N 2-302

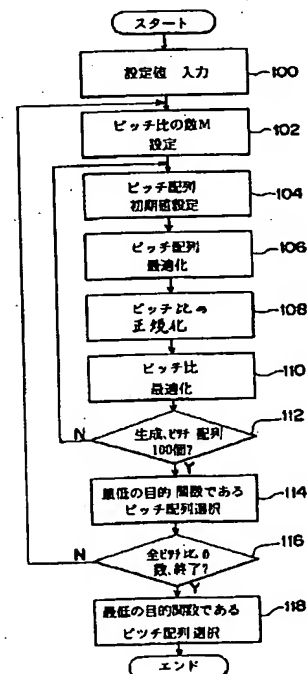
(74) 代理人 弁理士 中島 淳 (外4名)

(54) 【発明の名称】 タイヤのピッチ配列決定方法

(57) 【要約】

【目的】 タイヤ騒音性能が向上するタイヤのピッチ配列の決定を効率的にかつ容易にする。

【構成】 設定値に応じてピッチ配列の初期値を定める(100~104)。初期値に関するタイヤの基本モデル、音質に対応するタイヤ騒音性能評価用物理量を表す目的関数、ピッチ配列を決定する設計変数、及びピッチ配列を制約する制約条件を定め、設計変数を変化させて制約条件を満たしながら目的関数の値が収束しかつ最小となるピッチ配列を決定する(106)。決定されたピッチ配列について最初と最後のピッチ比を維持したままその間のピッチ比を増減させてトナリティ等の目的関数の値を最小にするピッチ比を決定する(108~110)。100個の初期値に対するピッチ配列から目的関数の値が最低であるピッチ配列及びピッチ比を選択する(112、114)。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 次の各ステップを含むタイヤのピッチ配列決定方法。

(a) タイヤのピッチ配列を表すピッチ配列基本モデル、音質に対応するタイヤ騒音性能評価用物理量を表す目的関数、ピッチ配列を決定する設計変数、及びピッチ配列を制約する制約条件を定めるステップ。

(b) 制約条件を考慮しながら目的関数の最適値を与える設計変数の値を求めるステップ。

(c) 目的関数の最適値を与える設計変数に基づいてピッチ配列を求めるステップ。

【請求項2】 請求項1に記載のタイヤのピッチ配列決定方法により、予め定められた複数の初期配列の各々について、初期配列に対応したピッチ配列を求め、求めた複数の初期配列に対応したピッチ配列の中から前記目的関数の最適値が最適となるピッチ配列を選択することを特徴とする請求項1に記載のタイヤのピッチ配列決定方法。

【請求項3】 前記ステップ(b)では、設計変数の単位変化量に対する目的関数の変化量の割合である目的関数の感度及び設計変数の単位変化量に対する制約条件の変化量の割合である制約条件の感度に基づいて制約条件を考慮しながら目的関数の最適値を与える設計変数の変化量を予測すると共に、設計変数を予測量に相当する量変化させたときの目的関数の値及び設計変数を予測量に相当する量変化させたときの制約条件の値を演算し、予測値と演算値とに基づいて、制約条件を考慮しながら目的関数の最適値を与える設計変数の値を求める請求項1または2に記載のタイヤのピッチ配列決定方法。

【請求項4】 前記ステップ(a)では、前記音質に対応するタイヤ騒音性能評価用物理量として、音響心理学的な目立ち易さを表す予め定めた所定帯域の音成分物理量、及び音響心理学的なうなり感を表す予め定めた低周波数の変動量の少なくとも一方を目的関数に定めることを特徴とする請求項1乃至請求項3の何れか1項に記載のタイヤのピッチ配列決定方法。

【請求項5】 前記目的関数として、音圧レベルを表す物理量をさらに定めることを特徴とする請求項4に記載のタイヤのピッチ配列決定方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、タイヤのピッチ配列決定方法にかかり、特に、タイヤ騒音性能が向上するタイヤのピッチ配列を決定するタイヤのピッチ配列決定方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】乾燥、湿潤及び氷雪を含む路面状態において走行中、安全でかつ比較的静寂な自動車用タイヤの設計について、近年着実に認識が高まっており、最近では、静寂なタイヤを設計するためのアプローチも理論的

になってきている。タイヤのトレッドに形成する溝等は、数学的に算出した基準に従い、複数の可変ピッチ反復設計サイクルによって設計されている。

【0003】タイヤには、上記の設計値に基づいて手作業でトレッドに刻んだり、タイヤ型によって形成したりして、タイヤ円周上のピッチ及びピッチ配列を規定する横方向溝及び円周方向溝に分けられた陸部（以下、設計要素という。）を有するトレッドが形成されている。ここで、このピッチとは設計要素の相対長さを指し、ピッチ配列とはタイヤ円周上に使われるピッチの順序をいう。

【0004】特開平4-232105号公報には、各ピッチは様々な異なる長さであり得るが、実用目的から約9種類かそれ以下に限定され、あるピッチ配列における特定のピッチの特定長さはタイヤの円周によって異なることが述べられている。その結果、第2のタイヤが第1のタイヤより低速度で走行したとき、第2のタイヤの直径より直径の大きい第1のタイヤ上の指定相対長さのピッチの特定ピッチ配列は、同一ピッチ長の比及びピッチ配列を有する第2のタイヤのそれと同一の音響指紋（特徴を表すストリング・プロットでシュミレーションされる。ストリング・プロットとは、音を出す際のタイヤが1回転する間に何回振動するかを示す調和数＜横座標＞に対して、振幅すなわち音圧＜縦座標＞をプロットしたものを用いる。）を生じることになる。

【0005】上記従来技術にも要旨が紹介されているが、特定トレッドの設計方法は、ランダースによって開示され（アメリカ合衆国特許第4327792号及び第4474223号）、この他にトレッド設計を最適化するアプローチがフレックナーによって開示されている（アメリカ合衆国特許第4598747号）。フレックナーによるアプローチは、各突起に切込みを形成し、その切込みの波長と振幅を突起の寸法に対して小さくして、他の基準も満たすようにしている。これらの他に数学的に設計する方法がカンボ他によって開示されている（アメリカ合衆国特許第4598748号）。

【0006】前記アプローチの検証は、試験するトレッド設計に見合う寸法のタイヤを物理的に形成しそのタイヤを試験することによって決定する。「騒音レベルと質」のためのタイヤ試験は、自動車のホイールリムに4個（またはそれ以下）の試験タイヤを取り付けて運動や走行させたときに感度の高い訓練された耳を有する熟練者の感覚により特定するのが一般的である。

【0007】また、トレッド設計の騒音発生特性について試験するのに便利でかつ信頼性の高い方法として、路面を走行する際の実際のタイヤトレッドノイズをコンピュータによってシミュレーションする、パーカー他によって開示されている技術がある（アメリカ合衆国特許第4727501号）。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、静寂なタイヤを得ようとするために、タイヤ騒音の特定を音圧の大小による値でのみ行うことは不十分であり、「騒音レベルと質」の試験が必要である。ところが、「騒音レベルと質」の試験は、熟練者の感覚に依存しているもので、評価がばらつくと共に、その「騒音レベルと質」に起因するトレッド形状にフィードバックすることができず、静寂なタイヤを得ることができなかった。

【0009】本発明は、上記事実を考慮して、タイヤ騒音性能が向上するタイヤのピッチ配列の決定を効率的にかつ容易にするタイヤのピッチ配列決定方法を得ることが目的である。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明者等は種々検討を加えた結果、タイヤ騒音を考察するとき音圧のみでとらえるものでは不十分と考え、さらに音質を考慮すべきであるという知見を得て、あらゆる検討を試み、本発明に到達したものである。具体的に、請求項1に記載の発明のタイヤのピッチ配列決定方法は、(a) タイヤのピッチ配列を表すピッチ配列基本モデル、音質に対応するタイヤ騒音性能評価用物理量を表す目的関数、ピッチ配列を決定する設計変数、及びピッチ配列を制約する制約条件を定めるステップ、(b) 制約条件を考慮しながら目的関数の最適値を与える設計変数の値を求めるステップ、(c) 目的関数の最適値を与える設計変数に基づいてピッチ配列を求めるステップ、の各々のステップを含んでいる。

【0011】請求項1の発明のステップ(a)では、タイヤのピッチ配列を表すピッチ配列基本モデル、音質に対応するタイヤ騒音評価用物理量を表す目的関数、ピッチ配列を決定する設計変数、及びピッチ配列を制約する制約条件を定める。このタイヤのピッチ配列基本モデルには、タイヤのピッチ、すなわちピッチ長やピッチ比を予め定めた個数だけ配列させた配列モデルを適用できる。なお、ピッチ配列基本モデルとしては、所定数のピッチが配列されたタイヤからの音を得る(すなわち、ピッチ配列を音化する)ため、各ピッチに所定の矩形波形の信号を対応させたパルス信号である音パルスモデルを適用することができる。このタイヤの音パルスモデルは、パルス幅を予め定めておき、各々のピッチの大きさに応じてパルス間の時間を変化、すなわち周期を変化させて配列させることで定めることができる。タイヤより発生される音は、タイヤの回転速度により異なることがあるので、タイヤの回転速度を属性情報として付与してもよい。配列モデルを最適化するための目的関数は音圧レベル等の物理量のみでは、聴取者の感覚に一致しないすなわち聴取者が煩わしさを感じる音の成分が残存することがある。聴取者は、音をその音圧レベルと音圧レベルとは直接無関係の音質から感じている。そこで、少なくとも音質に対応するタイヤ騒音評価用物理量を表す目

的関数を用いる。なお、音圧レベルを目的関数にさらに加えてもよい。ピッチ配列を決定する設計変数としては、各ピッチ長、ピッチ配列を表す関数等を用いることができる。ピッチ配列を制約する制約条件としては、隣接するピッチのピッチ比、ピッチ比の最大値及び最小値の制約等がある。なお、目的関数、設計変数及び制約条件は、上記の例に限られるものではなく、タイヤ設計目的に応じて種々のものを定めることができる。

【0012】次のステップ(b)では、制約条件を考慮しながら目的関数の最適値を与える設計変数の値を求める。これによって、制約条件を考慮し目的関数の値が最適になるときの設計変数の値が求められる。そしてステップ(c)では、目的関数の最適値を与える設計変数に基づいてタイヤピッチ配列を表すピッチ配列基本モデルを変更することによりピッチ配列を求める。

【0013】このようにして求めたピッチ配列は、聴取者の感覚に沿った音質が最適に決定されており、このピッチ配列に基づいて、静寂なタイヤを設計することができる。

【0014】請求項2に記載の発明は、請求項1に記載のタイヤのピッチ配列決定方法であって、請求項1に記載のタイヤのピッチ配列決定方法により、予め定められた複数の初期配列の各々について、初期配列に対応したピッチ配列を求め、求めた複数の初期配列に対応したピッチ配列の中から前記目的関数の最適値が最適となるピッチ配列を選択することを特徴とする。

【0015】請求項2の発明によれば、上記各ステップを、予め定められた初期配列毎に繰り返すことによって、複数の初期配列に対応した複数のピッチ配列を求め、求めた複数のピッチ配列から目的関数の最適値が最適となる、例えば目的関数である音響心理学的な目立ち易さやうなり感等が最小に成るのピッチ配列を選択することによって複数ある最適なピッチ配列から更に最適なタイヤのピッチ配列を決定できる。この決定されたピッチ配列に基づいて、静寂なタイヤを設計することができる。

【0016】請求項3に記載の発明は、請求項1または2に記載のタイヤのピッチ配列決定方法であって、前記ステップ(b)では、設計変数の単位変化量に対する目的関数の変化量の割合である目的関数の感度及び設計変数の単位変化量に対する制約条件の変化量の割合である制約条件の感度に基づいて制約条件を考慮しながら目的関数の最適値を与える設計変数の変化量を予測すると共に、設計変数を予測量に相当する量変化させたときの目的関数の値及び設計変数を予測量に相当する量変化させたときの制約条件の値を演算し、予測値と演算値とに基づいて、制約条件を考慮しながら目的関数の最適値を与える設計変数の値を求める。

【0017】請求項3の発明によれば、上記のステップ(b)において、制約条件を満たしながら目的関数の最

適値を与える設計変数の値を求める。この場合には、設計変数の単位変化量に対する目的関数の変化量の割合である目的関数の感度及び設計変数の単位変化量に対する制約条件の変化量の割合である制約条件の感度に基づいて制約条件を満たしながら目的関数の最適値を与える設計変数の変化量を予測すると共に、設計変数を予測量に相当する量変化させたときの目的関数の値及び設計変数を予測量に相当する量変化させたときの制約条件の値を演算し、予測値と演算値とに基づいて制約条件を満たしながら目的関数の最適値を与える設計変数の値を求めると効果的である。これによって、制約条件を満たし目的関数の値が最適になるときの設計変数の値が求められる。

【0018】設計変数としてピッチ配列を表す関数を定めたときには、設計変数を変化させたときにピッチ長が所定範囲になるように制約条件を定めてステップ(b)を実行することにより、制約条件を満たしながら目的関数の最適値を与える設計変数の値を求めれば、ピッチ配列に含まれるピッチ長は予め定めた所定範囲内となり、極端に大きいピッチや極端に小さいピッチはなくなる。

【0019】請求項4に記載の発明は、請求項1乃至請求項3の何れか1項に記載のタイヤのピッチ配列決定方法であって、前記ステップ(a)では、前記音質に対応するタイヤ騒音性能評価用物理量として、音響心理学的な目立ち易さを表す予め定めた所定帯域の音成分物理量、及び音響心理学的なうなり感を表す予め定めた低周波数の変動量の少なくとも一方を目的関数に定めることを特徴とする。

【0020】本発明者等は種々検討を加えた結果、音響心理学的に利用されている感覚尺度をタイヤと言う特殊分野に応用することに着目し、あらゆる検討を試み、それをタイヤのピッチ配列決定方法として確立した。

【0021】すなわち、音質に対応するタイヤ騒音評価用物理量を表す目的関数としては、音響心理学的なパラメータを用いることができ、音響心理学的なパラメータとしては、音の大きさを表す感覚尺度、音の鋭さを表す感覚尺度、音の粗さを表す感覚尺度、請求項4にも記載した目立ち易さを表す感覚尺度、及びうなり感を表す感覚尺度、がある。音の大きさを表す感覚尺度は音圧レベルに対応し、音の鋭さを表す感覚尺度は高周波側の音の大きさ成分(音の大きさを表す感覚尺度)を含む比率の大きさから求めることができる。また音の粗さを表す感覚尺度は、予め定めた複数の帯域のうち所定の帯域を臨界帯域としてこの臨界帯域での変調度に重み付けして加算した値から求めることができる。目立ち易さを表す感覚尺度は音の中に含まれる純音成分や狭帯域ノイズ成分の割合から求めることができる。また、音はその大きさにより純音や狭帯域ノイズが打ち消されることがあるので、目立ち易さを求めるときは音の大きさに応じて純音や狭帯域ノイズの打ち消し(マスキング効果)を考慮す

ることが好ましい。うなり感を表す感覚尺度は、予め定めた所定周波数の振動振幅が変動するその変動量から求めることができる。このうなり感は、音の大きさの変動振幅が大きい程顕著に現れる。

【0022】このようにして求めたピッチ配列は、聴取者の感覚に沿った音質すなわち音響心理学的な目立ち易さやうなり感等が最適に決定されており、このピッチ配列に基づいて、静寂なタイヤを設計することができる。

【0023】請求項5に記載の発明は、請求項4に記載のタイヤのピッチ配列決定方法であって、前記目的関数として、音圧レベルを表す物理量をさらに定めることを特徴とする。

【0024】上記では、目的関数として音質に対応するタイヤ騒音評価用物理量、すなわち音響心理学的なパラメータを用いているが、静寂なタイヤを得ようとするために、タイヤ騒音の特定を音圧の大小による値での評価を加味すると、さらに効果がある。例えば、音質に対応するタイヤ騒音性能評価用物理量として、音響心理学的な目立ち易さを表す予め定めた所定帯域の音成分物理量、及び音響心理学的なうなり感を表す予め定めた低周波数の変動量の少なくとも一方と、音圧レベルのピークの最小化、すなわち発生ノイズの音圧レベルの最大値の最小化を行う。これによって、音質を考慮し、発生ノイズの音色の目立ちやすさ及びうなり感が抑制されると共に、発生ノイズの振幅値のばらつきが最小となるホワイトノイズ化された最適なピッチ配列を決定でき、静寂なタイヤを設計することができる。

#### 【0025】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、本発明の実施の形態を詳細に説明する。図1は、本発明のタイヤのピッチ配列決定方法を実施するためのパーソナルコンピュータの概略を示すものである。このパーソナルコンピュータは、データ等を入力するためのキーボード10、予め記憶されたプログラムに従って、制約条件を満たしかつ目的関数を最適、例えば、最大または最小にする設計変数を演算するコンピュータ本体12、及びコンピュータ本体12の演算結果等を表示するCRT14から構成されている。コンピュータ本体12は、図示を省略したCPU、ROM、RAMから構成されたマイクロコンピュータによって構成されている。

【0026】コンピュータ本体12には、音化装置16が接続されており、この音化装置16には、スピーカ18A、18Bが接続されている。音化装置16は、コンピュータ本体12から出力されたピッチ配列に対応する矩形波の連続からなるパルス列に応じて、ピッチ配列を音化情報例えば音圧レベル・周波数特性に変換してその音化情報をスピーカ18A、18Bへ出力する装置である。コンピュータ本体12と音化装置16との間では、コンピュータ本体12で生成されたパルス列の授受及び当該パルス列が音化された情報、例えば音圧レベル・周

波数特性等の音化情報の授受がなされる。音化装置16の一例としては、HEAD acoustics社製BAS II. 3E (No. 42516103)がある。

【0027】第1実施の形態は、走行時の騒音を少なくする、すなわち静寂性を向上させるために、音質を考慮して、最適なピッチ配列及びピッチ長の比（以下、ピッチ比という。）を決定するものである。本実施の形態は、ピッチ配列に規則性がないランダムピッチ配列を基本として説明する。

【0028】本発明者は、タイヤのピッチ配列について種々検討を加えた結果、所定のピッチ配列を有するタイヤから発生されるパターンノイズの悪さとして、音圧の大小によるものよりも、音質によるもの、例えば音の目立ち易さやうなり感に関係するものが大きく起因するという知見を得て、あらゆる検討を試み、音響心理学的に利用されている感覚尺度を導入するに至った。

【0029】また、本発明者は、タイヤから発生される音の音質は、パターンピッチの1次域（ピッチ個数×周波数）の配列に関係し、全ての配列個数によるスペクトルに基づいた目的関数の最適化（例えば、スペクトルのフラット化や音圧レベルの最小化等）では、時間軸上の配列が関与した音質の悪さを低減することが困難であるという知見も得た。

【0030】次に、音質を考慮し静寂性が向上されたタイヤを得るための音響心理学的な感覚尺度、すなわち音響心理パラメータについて説明する。音響心理パラメータには、音の大きさを表す感覚尺度（ラウドネス）、音の鋭さを表す感覚尺度（シャープネス）、音の粗さを表す感覚尺度（ラフネス）、目立ち易さを表す感覚尺度（トナリティ）、及びうなり感を表す感覚尺度（フラクチュエーション・ストレングス）がある。ラウドネスは音圧レベルに対応するが、音圧レベルのdB (A)より実際の感覚に近く、音のマスクング効果を考慮して求められるものであり、ISO532Bで規格化されている。シャープネスは高周波側のラウドネス成分を含む比

率の大きさから求めることができる。また、ラフネスは、予め定めた複数の帯域のうち所定の帯域を臨界帯域としてこの臨界帯域での変調度に重み付けして加算した値から求めることができる。トナリティは音の中に含まれる純音成分や狭帯域ノイズ成分の割合から求めることができる。また、音はその大きさにより純音や狭帯域ノイズが打ち消されることがあるので、目立ち易さを求めるときは音の大きさに応じて純音や狭帯域ノイズの打ち消し（マスクング効果）を考慮することが好ましい。フラクチュエーション・ストレングスは、予め定めた所定周波数の振動振幅が変動するその変動量から求めることができる。このうなり感は、音の大きさの変動振幅が大きい程顕著に現れる。

【0031】これらの音響心理パラメータの各々は次の表1から求めることができる。上記のように、トナリティKは、音の中に含まれる純音成分や狭帯域ノイズ成分の割合から求めることができるが、求めた割合をラウドネスのマスクング効果を考慮して算出すると、スペクトラム上にピーク類が存在する。そこで、以下の表1に示す式では、トナリティKを、スペクトラム上に存在するピーク類について、ピーク（帯域）幅が狭い程（重みw1）、周波数が700Hzに近い程（重みw2）、ピークレベルが大きい程（重みw1）、大きくなる因子、及びラウドネスでみたこれらのノイズに対するSN比因子の積から求めている。なお、ピッチ1次の目立ち易さは、400～500Hzのバンドパスフィルタ付加による信号抽出に相当する。

【0032】また、フラクチュエーション・ストレングスは、予め定めた所定周波数の振動振幅が変動するその変動量から求めることができるが、以下の表1に示す式では、ラウドネスの変動振幅が大きい程またその変動周波数が4Hzに近くなる程大きくなる。

【0033】

【表1】

## 音響心理パラメータ

パラメータ	定義式
ラウドネス	$N = \int_{-0.23}^{24 \text{ Bark}} N'(z) dz$ $N'(z) = 0.068 \cdot \left(\frac{1}{s}\right)^{0.23} \cdot 10^{\frac{0.23 L_{GNS}(z)}{10}} \cdot \left[ \left(1 - s + s \cdot 10^{\frac{L_z(z) - L_{GNS}(z)}{10 \text{ dB}}}\right)^{0.23} - 1 \right]$ $s = 10^{\left(\frac{0.22 - 0.005 \cdot z}{\text{Bark}}\right) - 1}$
シャープネス	$S = K_s \cdot \frac{\int_0^{24 \text{ Bark}} N'(z) \cdot g'(z) dz}{\ln\left(\frac{N}{\text{1 sone}} + 20\right) \text{ sone}} \text{ acum} \quad , \quad g'(z) = e^{\left(\frac{0.171 \cdot z}{\text{Bark}}\right)}$
ラフネス	$R = c \cdot \sum_{i=1}^{24} r'_i(z_i) \cdot \frac{\rho_{(i-1),i} + \rho_{i,(i+1)}}{2} \cdot \Delta z_i \quad , \quad r'_i(z_i) = \begin{cases} (m_i k_i)^{13} & (m < 1) \\ m_i k_i & (m \geq 1) \end{cases}$
トナリティ	$K = C \cdot w_T^{0.29} \cdot w_{GR}^{0.79}$ $= C \cdot \left[ \sqrt{\sum_{j=1}^n [w_1(\Delta z_j) \cdot w_2(f_j) \cdot w_3(\Delta L_j)]^2} \right]^{0.29} \cdot \left(1 - \frac{N_{GR}}{N}\right)^{0.79}$ $w_1(\Delta z) = \left(\frac{0.13}{\Delta z / \text{Bark} + 0.13}\right)^{1/0.29}$ $w_2(f) = \left[1 + 0.2 \cdot \left(\frac{f}{0.7 \text{ kHz}} + \frac{0.7 \text{ kHz}}{f}\right)^2\right]^{-1/2}$ $w_3(\Delta L) = 1 - \exp\left(-\frac{\Delta L}{15 \text{ dB}}\right)$
フラクチュエーション・ストレンジネス	$F = \frac{0.3}{\text{Bark}} \cdot \frac{\int_0^{24 \text{ Bark}} \log\left(\frac{N'_{\max}}{N'_{\min}}\right) dz}{(T/0.25s) + (0.25s/T)} \quad (\text{vacil.})$

【0034】但し、上記の表中の記号は次を表すものである。

- $z$  : 周波数を臨界帯域尺度で表した値  
 $L_E(z)$  :  $(z)$  における d B 単位の励起レベル  
 $L_{GNS}(z)$  : 静寂時のしきい値における励起レベル  
 $\text{Bark}$  : 人の耳の(カタツムリ状の)耳管を直線状にして 24 分割したときの 1 分割の長さに相当する臨界帯域幅を単位とする、帯域幅を計る尺度の単位名  
 $\rho_{i,j}$  : 臨界帯域毎のバンドパス波形の振幅包絡信号のうち、隣り合う ( $j=i-1, i+1$ ) 臨界帯域  $i, j$  の信号の相互相関係数  
 $m$  : 変調度  
 $k_i$  : 臨界帯域毎に決められた重み付け係数  
 $\text{sone}$  : 1 kHz の周波数及び 40 dB の音圧を有する正弦波音色 (ト



11

12

	ーン) が1 s o n eの音の大きさを生じさせるものと定義
a c u m	: 基準音色 (60 d Bのレベルで1 k H zを中心周波数として 1 6 0 H z未満のバンド幅を有する音の音色) のシャープネス を表す値
C	: 定数
N	: 音全体の大きさ (ラウドネス)
N <sub>GR</sub>	: スペクトル (音色成分を除く) のノイズ成分の音の大きさ (ラウドネス)
f	: 周波数
N' <sub>min</sub>	: 特定音の大きさ (ラウドネス) の時系列の最小値
N' <sub>max</sub>	: 特定音の大きさ (ラウドネス) の時系列の最大値
v a c i l	: 変調強度、変調度1で4 k H zの周波数、60 d Bのシヌソイ ド振幅 (sinusoidal amplitude) によって変調された1 k H z の音色 (トーン) を1 v a c i lを有する基準信号と定義
T	: 2つの連続的な最大音の大きさの間の時間差

【0035】なお、上記音響心理パラメータについては、E. Zwicker 著、山田由紀子訳「心理音響学」にも記載がある。以下の説明では、表1に示した数式を(1)式と総称して用いる。

【0036】本発明者は、音響心理パラメータと従来の音圧レベル評価とを実車計器音質評価法により比較実験し、次の結果を得た。

【0037】図2に示すように、実車計器音質評価法による測定は、タイヤ30を備えた車両20の後部に、車両20の走行速度を検出するための速度計28を取り付けて行った。車両20内には乗員22が着座するが、その着座した乗員22の頭部で左右の各耳の近傍位置にマイクロフォン24、26が取り付けられている。これらのマイクロフォン24、26の各々によって、乗員22が左右の耳から聴取すべき音を取得することができる。なお、上記測定では、乗員22に模擬したダミー人形の左右の耳にマイクロフォンを埋め込んだダミーヘッド(マイク付ヘッド)を用いて測定を行った。

【0038】ここでは、新特殊路P/N路の路面において、所定速度範囲(38~60 km/h)で惰行(ドレンジ)走行した場合を測定した。

【0039】図3は、タイヤT1、T2の各々を車両に装着して走行させたときにマイクロフォン24、26から得られた音の音圧レベルに対する周波数特性を示したものであり、図3(1)は左耳の近傍位置のマイクロフォンによる検出結果を示し、図3(2)は右耳の近傍位置のマイクロフォンによる検出結果を示したものである。この図3から理解されるように、音圧レベルからではタイヤT1、T2の各々に対して差異はみられない。

【0040】次に、上記車両20に複数の異なるタイヤ30を装着し、各々のタイヤについてオペレータがフィーリング評価を行うと共に、マイクロフォン24、26

[設定値]

- ・ピッチ個数 : N
- ・制約条件 : ・最大ピッチ長の比:  $\alpha_{max} = 11.0$

から得られる音を用いて音響心理パラメータと従来の音圧レベルとを求めた。

【0041】図4には、フィーリング評点の値を縦軸にすると共に、音圧レベル及び音響心理パラメータの値を横軸にした各座標系に、複数の異なるタイヤの結果をプロットしたものである。図中、rの値は相関係数を示している。この図4から理解されるように、音質的にみれば、ラウドネス、シャープネス、ラフネスは、各値とフィーリング評点との間には、相関関係がみられず、分散したプロットになった。一方、トナリティK、及びフラクチュエーション・ストレングスFの各々には音響心理パラメータの値とフィーリング評点との間に相関関係があることが理解される。

【0042】以上の結果から、本発明者は、音の目立ち易さやうなり感に関係する音質によるものが走行時の騒音を少なくする、すなわち静寂性を向上させることに大きく起因するという観点から、音響心理パラメータのうちトナリティK、及びフラクチュエーション・ストレングスFを注目し、これら2つの音響心理パラメータを目的関数として設定し、タイヤのピッチ配列を最適化することを勘案した。

【0043】図8は、第1実施の形態のプログラムの処理ルーチンを示すものある。ステップ100~104では、タイヤのトレッドに形成されるピッチ配列を数値的・解析的に求めるためのピッチ配列基本モデルを求める。ここで、モデル化とは、ピッチ配列を、疑似乱数に基づいて作成しコンピュータプログラムへのインプットデータ形式に数値化することをいう。

【0044】詳細には、ステップ100では、静寂なピッチ配列を決定する際に、必要とするまたは経験的に求められる以下の各値が設定値として入力される。

【0045】

・最小ピッチ長の比： $\alpha_{\min} = 7.0$

・隣合うピッチ長の比

$$\alpha_{\min} \leq P_i / P_{i+1} \leq \alpha_{\max}$$

$$\alpha_{\min} \leq P_1 / P_N \leq \alpha_{\max}$$

但し、 $\alpha_{\min}$ 、 $\alpha_{\max}$  は与えられる定数

例えば、 $\alpha_{\min} = 1/1.45$

$$\alpha_{\max} = 1.45$$

・目的関数OBJ：音質に対応するタイヤ騒音性能評価用物理量（本実施の形態では、音響心理パラメータであるトナリティK、及びフラクチュエーション・ストレングスFを設定する。なお、計算を単純化するため、本実施の形態では近似式を用いている。詳細は後述する）

・設計変数：N-1個の各ピッチ長 $P_i$  ( $i=1, 2, \dots, N-1$ )

【0046】なお、上記設定値として、静寂性を評価するときのタイヤの回転速度（例えば車速から求めた回転速度）、およびピッチ配列を音化するための矩形波のパルス幅（詳細は後述する）を設定することができる。

【0047】ステップ102では、ピッチ比の数M（Mは自然数、本実施の形態では2～9のいずれか1つ）を決定し、ステップ104においてピッチ配列に含まれるピッチ比の種類がM個でありピッチの総数がN個であるピッチ配列Vを擬似乱数アルゴリズムによって複数生成し、この複数ピッチ配列Vのうち、隣合うピッチの比に関する制約条件を満足する1つのピッチ配列を初期値として選択する。

【0048】すなわち、M個のピッチ比を1～9までの自然数に対応させ、擬似乱数アルゴリズムによってN桁の配列を生成することによって、ピッチ比が配列値である自然数の各桁に対応して表現されるピッチ配列Vを生成する。次に、隣合うピッチの比に関する制約条件を満足する1つのピッチ配列を初期値として選択する。なお、本実施の形態では、このピッチ比の数Mとして、M=2、3、…9の場合を順にして処理を行うものとす\*

＊る。

【0049】ここで、上記目的関数の詳細を説明する。本実施の形態では、計算を単純化するため、目的関数として用いる音響心理パラメータであるトナリティK、及びフラクチュエーション・ストレングスFを以下のようにして近似している。

【0050】まず、タイヤに形成されたピッチ配列により発生される音を得るため、すなわちピッチ配列を音化するため、上記ピッチ配列Vを配列データとして、その配列データを時間軸上のパルス列に置き換えて、時間周波数分析等で解析可能としている。すなわち、ピッチ配列を音について解析可能な形式に変換している。このように、本実施の形態では、ピッチ配列を音化するためにピッチ配列である配列データを時間軸上のパルス列に置き換えている。一例として、3個または5個のピッチ比を1～9までのいずれかの自然数に対応させ、ピッチ配列を得るタイヤA～Cを表2に示した。

【0051】

【表2】

タイヤ	配列名	種類≡ピッチ比	配列（数字はピッチ比の種類を表す）
A	a	1≡9 2≡10 3≡13.6	333111332113222133121312231122333222331133 1323212322233232211131
B	b	1≡7 2≡8 3≡9 4≡10 5≡11	323434224212424242453212453424554332123124 531311234212455321135355
C	c	1≡12 2≡14 3≡17	122133313131131112323221112112221333213222 11322111112313322212112321311213322

【0052】上記のようにしてピッチ比が配列値である自然数の各桁に対応して表現されるピッチ配列Vを生成したのち、そのピッチ配列について矩形波の連続からなるパルス列に変換する。図5に一例を示すように、パルス列は、パルス幅が予め定めた一定幅の矩形波の周期をピッチ比に応じて伸長させたものである。図5の例は、

ピッチ配列の一部として「2、1、3」の部分のパルス列を示すものであり、ピッチ比の配列値「2」に対応してパルス幅 $P_w$ でかつ時間（周期） $t_a$ 、ピッチ比の配列値「1」に対応してパルス幅 $P_w$ でかつ時間（周期） $t_b$ 、ピッチ比の配列値「3」に対応してパルス幅 $P_w$ でかつ時間（周期） $t_c$ からなるパルス列の一部を示し

ている。なお、時間（周期） $t_a$ 、 $t_b$ 、 $t_c$ は、ピッチ比に対応し長短の時間になるものであり、図5の例では、 $t_b > t_a > t_c$ となる。なお、パルス幅 $P_w$ は、予め実験によって定めたものであり、本実施の形態では、 $500\mu s$ に設定している。このようにして設定したパルス列は、時間周波数分析等によって音化することができる。

【0053】次に、トナリティK及びフラクチュエーション・ストレングスFの計算を単純化するため、区分スペクトルという概念を導入した。この区分スペクトルは、図7に示すように、タイヤ1回転のピッチ配列による長さを基本幅すると共に該基本幅を所定数で分割（本実施の形態では、3分割）した長さを区分幅として、基本幅内を区分幅の一部を所定ずらし量だけ重複させて所定回抽出したものを定義したものである。

【0054】トナリティKは、主に音の目立ち易さを表すものであるから、この区分スペクトルを用いて、個々の区分スペクトル内の偏差に対応させる。本実施の形態では、基本幅の $1/3$ を区分幅と設定すると共に、ずらし量を75%に設定している。これによって、12個の区分スペクトルを得ることができる。なお、このときの窓関数はハニングを設定している。

【0055】また、フラクチュエーション・ストレングスFは、うなり感を表すものであり、区分スペクトルを用いて、個々の区分スペクトルの間のエネルギー差に対応させている。本実施の形態では、トナリティKの場合と同様に、基本幅の $1/3$ を区分幅と設定する。これと共に、ずらし量は96%に設定して、72個の区分スペクトルを得ている。

【0056】従って、目的関数による最適化は、次の(2)式に示すように、トナリティKについては区分スペクトル内の偏差、すなわち区分スペクトル毎に音化したその各区分スペクトル内における音圧レベルに関する最大値と最小値とのレベル差（振幅）のばらつきを最小化することに相当する（図6参照）。

【0057】

$\text{Min} \{D_{\min}\} \dots (2)$

但し、 $\text{Min} : \{ \}$  内の最小値を求める関数

$D_{\min}$  : 区分スペクトル内の最大音圧レベルと最小音圧レベルのレベル差

感度 $\Delta O B J / \Delta P_i =$

$$= \frac{O B J (P_i + \Delta P_i) - O B J (P_i)}{(P_i + \Delta P_i) - P_i}$$

感度 $\Delta G_i / \Delta P_i =$

$$= \frac{G (P_i + \Delta P_i) - G (P_i)}{(P_i + \Delta P_i) - P_i}$$

\* 【0058】また、フラクチュエーション・ストレングスFについては、次の(3)式に示すように、区分スペクトル間のエネルギー差、すなわち区分スペクトル毎に音化したその音圧レベルのレベル差を最小化することに相当する。

【0059】

$\text{Min} \{E_{\max} - E_{\min}\} \dots (3)$

但し、 $E_{\max}$  : 区分スペクトル内のエネルギー（音圧レベル）の最大値

10  $E_{\min}$  : 区分スペクトル内のエネルギー（音圧レベル）の最小値

【0060】次のステップ106では、図9に示した最適化ルーチンによって初期値として選択されたピッチ配列Vを最適化する。次に、ステップ132において、設計変数 $P_i$ の初期値 $P_o$ における目的関数O B Jの初期値 $O B J_o$ 及び制約条件Gの初期値 $G_o$ を演算する。この目的関数O B Jの初期値 $O B J_o$ について、トナリティKは区分スペクトル内の偏差を求めるもので、フラクチュエーション・ストレングスFは区分スペクトル間のエネルギー差を求めるものである。これらの区分スペクトル内の偏差や区分スペクトル間のエネルギー差は、音化装置からのデータを用いても良いし、コンピュータ本体において求めてもよい。

【0061】次のステップ134では、基本モデルを変化させるために設計変数 $P_i$ を各々 $\Delta P_i$ ずつ変化させる。ステップ136では、設計変数を $\Delta P_i$ 変化させた後のピッチ配列を決定する。

【0062】ステップ138では、ステップ136で求めたピッチ配列について設計変数を $\Delta P_i$ 変化させた後の目的関数の値 $O B J (P_i + \Delta P_i)$ 、制約条件の値 $G (P_i + \Delta P_i)$ を演算し、ステップ140で以下の式(4)に従って、設計変数の単位変化量に対する目的関数の変化量の割合である目的関数の感度 $\Delta O B J / \Delta P_i$ 及び設計変数の単位変化量に対する制約条件の変化量の割合である制約条件の感度 $\Delta G_i / \Delta P_i$ を各設計変数毎に演算する。この目的関数の値である、トナリティK及びフラクチュエーション・ストレングスFは、上記ステップ132の演算と同様にして求める。

【0063】

\* 40 【数1】

$\dots (4)$

【0064】この感度によって、設計変数を $\Delta P_i$ 変化 50 させたときに目的関数の値及び制約条件の値がどの程度

変化するか予測することができる。なお、この感度は、タイヤ騒音のモデル化に用いた手法や設計変数の性質によっては、解析的に求められる場合があるので、その際にはステップ138の演算は不要になる。

【0065】次のステップ142では、目的関数の初期値OBJo、制約条件の初期値Go、設計変数の初期値Po及び感度を用いて、数理計画法により制約条件を満たしながら目的関数の値を最小にする、すなわちトナリティK及びフラクチュエーション・ストレングスFの値を最小にする設計変数の変化量を予測する。この設計変数の予測値を用いて、ステップ144でステップ136と同様の方法によりピッチ配列を決定すると共に、目的関数値を演算する。ステップ146において、ステップ144で演算した目的関数値OBJとステップ132で演算した目的関数の初期値OBJoとの差と、予めイン\*

$$r_i = \left\{ r_{\min} + \frac{i-1}{M-1} \cdot (r_{\max} - r_{\min}) \right\} / \left( \frac{r_{\min} + r_{\max}}{2} \right) \quad \text{--- (5)}$$

【0068】ここで、 $r_{\max}$  は最大ピッチ長の比、 $r_{\min}$  は最小ピッチ長の比である。次に、以下の式(6)に従って、最適化されたピッチ長 $P_i$ をピッチ長の平均※

$$AP_i = P_i / \left( \frac{L}{\sum_{i=1}^M r_i m_i} \right) \quad \text{--- (6)}$$

この $m_i$ はピッチ比 $r_i$ を有するピッチの個数であり、 $\sum_{i=1}^M m_i = N$ の関係がある。

但し、 $P_i : i = 1, 2, \dots, N-1$

$$P_N = L - \sum_{i=1}^{N-1} P_i$$

$L$  : タイヤの周長

【0070】上記最適化されかつ平均値で除算された値 $AP_i$ を、最も近い正規化されたピッチ比で置換した後、ピッチ比の数 $M$ でピッチ配列を再表現する。

【0071】次のステップ110では、ピッチ比の数 $M$ で表現されたピッチ配列の各ピッチ比を図10に示したピッチ比の最適化ルーチンにより最適化する。図10の最適化ルーチンは、最初と最後のピッチ比 $r_1$ 、 $r_M$ の値を保持したまま、目的関数が最小になるように、その間のピッチ比 $r_2 \sim r_{M-1}$ の値を最適化する。この最適化ルーチンのステップ160では、ピッチ比 $r_2 \sim r_{M-1}$ の値を各々増減するための増減値 $\Delta r$ を演算する。本実施の形態では、 $(r_M - r_1) / 10$ の値を増減値 $\Delta r$ として演算する。次のステップ162では、初期目的関数の値OBJoを演算する。次のステップ164で

\*ブットされたしきい値とを比較することで目的関数の値が収束したか否かを判断し、目的関数の値が収束していない場合にはステップ142で求められた設計変数の値を初期値として、ステップ132からステップ146を繰り返し実行する。目的関数の値が収束したと判断されたときには、このときの設計変数の値をもって制約条件を満たしながら目的関数を最小にする設計変数の値とし、ステップ148においてこの設計変数の値を用いてタイヤの最適化されたピッチ配列を決定する。

【0066】次のステップ108では、上記のようにして最適化されたピッチ配列のピッチ比を正規化する。すなわち、ピッチ比の数 $M$ に基づいて、以下の式(5)に従って正規化された初期ピッチ比 $r_i$ を求める。

【0067】

【数2】

※値で除算する。

【0069】

【数3】

は、ピッチ比 $r_2 \sim r_{M-1}$ の何れか1つを選択し、ステップ166で選択したピッチ比 $r_i$ を増加または減少させてステップ168において新たに目的関数の値OBJを演算する。次のステップ170でピッチ比 $r_2 \sim r_{M-1}$ に関する増減を全て(2(M-2)回)演算したか否かを判断し、全て演算した場合には、ステップ172において、ステップ168で演算した2(M-2)個の目的関数の内、最低になる目的関数値を演算する。次のステップ174では、初期目的関数値とステップ172で演算した最低目的関数値とを比較し、最低目的関数値が初期目的関数値より大きい場合には、これ以上改良されないことを示しているの、ステップ178において最適なピッチ比 $r_1 \sim r_M$ を出力する。一方、ステップ

さいと判断された場合には、ステップ176において隣り合うピッチ比 $r_i$ ,  $r_{i+1}$  ( $i=1 \sim M-1$ ) の差が或る値 (予め定めた所定値) より小さいか否かを次の式 (7) を用いて判断し、小さくなっていないときには、\*

$$r_{i-1} - r_i < \frac{r_{\max} - r_{\min}}{2(M-1)} \quad \text{--- (7)}$$

但し、 $i=1 \sim M-1$

【0073】次のステップ112では、ピッチ配列Vを100個生成したか否かを判断し、100個生成するまで、ステップ104～ステップ110を繰り返す。ピッチ配列Vを100個生成すると、ステップ114において目的関数が最低であるピッチ配列及びピッチ比を選択する。

【0074】次のステップ116では、全ピッチ比の数Mについて上記処理が終了したか否かを判断し、否定判断の場合には、ステップ102からステップ114までを実行する。一方、全ピッチ比の数Mについてピッチ比及びピッチ配列の最適化が終了したときは、ステップ1

18へ進み、ピッチ比の数毎に最適化されたピッチ比及びピッチ配列から目的関数が最低である、すなわちトナリティK及びフラクチュエーション・ストレングスFの値が最小となるピッチ比及びピッチ配列を選択し、本ルーチンを終了する。

【0075】このようにして、ピッチ比及びピッチ配列を決定することにより、予め定めた初期配列に対応した複数 (100個) の最適なピッチ配列から音質を考慮した、すなわち発生ノイズの音色の目立ちやすさ及びうなり感が抑制された最適なピッチ配列を選択でき、少ない

演算で確度よく、静寂なタイヤを設計することができる。

【0076】本実施の形態では、音響心理パラメータのうちトナリティK、及びフラクチュエーション・ストレ

\*ステップ162へ進み小さい場合にはステップ178へ進み、最適なピッチ比 $r_1 \sim r_M$ を出力する。

【0072】

【数4】

10 ングスFの各々を最適化する場合について説明したが、トナリティK、及びフラクチュエーション・ストレングスFのいずれか一方のパラメータを最適化してもよい。また、トナリティK、及びフラクチュエーション・ストレングスFの少なくとも一方と、音圧レベルのピークの最小化、すなわち発生ノイズの音圧レベルの最大値の最小化を行ってもよい。このようにすれば、音質を考慮し、発生ノイズの音色の目立ちやすさ及びうなり感が抑制されると共に、発生ノイズの振幅値のばらつきが最小となるホワイトノイズ化された最適なピッチ配列を選択でき、少ない演算で確度よく、静寂なタイヤを設計することができる。

【0077】ここで、本発明者は、音響心理パラメータを目的関数に用いてピッチ配列を最適化したタイヤを含む種々のタイヤについて、フィーリングテストを行い、次の結果を得た。

【0078】このフィーリングテストでは、10個のタイヤについて、フィーリング評点の基準を5 (良好)、3 (普通)、1 (悪い) と対応させて、8人の熟練者にヒヤリング実験を行ったものである。次の表3にその結果を示した。なお、基準タイヤは8人の熟練者全てが平均的と思われたタイヤを10個のうちから1つを選択設定したものである。

【0079】

【表3】

21

22

配列 番号	熟練者番号								平均 値
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	2.5	4.0	4.0	2.0	3.0	4.0	4.0	4.0	3.4
2	3.0	2.0	3.0	3.5	3.0	2.0	2.0	2.5	2.6
3	2.5	1.5	4.5	3.0	4.0	2.5	3.0	3.0	3.0
4	2.0	1.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.6
5	1.5	1.0	1.0	2.5	1.0	2.0	1.5	2.0	1.6
6	3.0	2.0	5.0	1.5	5.0	3.0	4.0	3.0	3.3
7	2.5	2.0	2.0	2.5	3.0	2.5	1.5	2.5	2.3
8	3.5	2.0	2.5	3.5	3.5	4.0	2.5	3.5	3.1
9	3.5	3.0	3.5	3.0	3.0	3.0	4.0	3.5	3.3
基準	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

【0080】図11(2)には、上記10個のタイヤのフィーリング評点の平均値と、トナリティKとの対応を示した。なお、トナリティKは、上記で説明したようにピッチ配列を、パルス列に変換して区分スペクトルから求めたものである。また、図11(3)には、上記10個のタイヤのフィーリング評点の平均値と、フラクチュエーション・ストレングスFとの対応を示した。なお、フラクチュエーション・ストレングスFも上記と同様に区分スペクトルを用いて求めたものである。

【0081】これらの図から理解されるように、フィーリング評点の平均値と、トナリティK及びフラクチュエーション・ストレングスFと、は相関関係を有している。そこで、各々について重回帰分析を行い、次式に示すように、トナリティK及びフラクチュエーション・ストレングスFから推定評点Yを得るための推定式を求めた。

【0082】

$$Y = 4.75 - (2.8 \cdot K + 0.93 \cdot F)$$

但し、Y：推定評点

K：トナリティの値

F：フラクチュエーション・ストレングスの値

【0083】図11(1)には、上記10個のタイヤのフィーリング評点の平均値と、推定評点Yとの対応を示した。これらの対応は相関が高く（相関係数 $r = 0.916$ ）フィーリング評点と、音質を考慮した、すなわちトナリティK及びフラクチュエーション・ストレングスFによる推定評点とが精度よく対応された。

$$H = 2C + 2C \cdot (M - 2)$$

但し、C：山の数（図15の場合、2）

M：ピッチ比の数

ステップ200では、上記と同様に、静寂なタイヤを決定する際に必要とするまたは経験的に求められる設定値が入力され、次のステップ102においてピッチ比の数

\*【0084】図12には、本発明者が行った、従来の音圧レベルで最適化したピッチ配列で規定されるタイヤ、及び上記実施の形態による最適化により定まるピッチ配列で規定されるタイヤについて、トナリティKを求めた実験結果（図12(1)参照）、及びフラクチュエーション・ストレングスFを求めた実験結果（図12(2)参照）を示した。図12(1)から理解されるように、トナリティKの値は抑制され、図12(2)から理解されるように、フラクチュエーション・ストレングスFの値も抑制されている。これにより、音質が良好に改善されたピッチ配列を決定できることになる。

【0085】次に、タイヤのピッチ配列を山型とする山型配列を基本として最適なピッチ配列及びピッチ比を決定する第2実施の形態を説明する。なお、本実施の形態は、図13を参照して説明するが、図8と対応する部分には同一符号を付して詳細な説明を省略する。

【0086】このピッチ配列を山型とするピッチ配列（以下、山型ピッチ配列という）は、図15に示したように、ピッチ比の数がM個のとき、小ピッチから大ピッチへ、大ピッチから小ピッチへ順に変化するピッチ配列をいう。また、山型ピッチ配列中にある大ピッチが連続する1つの群を1つの山として、図15の場合は山の数が2つになる。また、この山型ピッチ配列におけるピッチの大きさが変化するときの階段数Hは、以下の式（8）で表せる。

【0087】

$$H = 2C \cdot (M - 1) \quad \text{--- (8)}$$

Mを設定する。本実施の形態では、山型ピッチ配列であるため、上記実施の形態のランダムピッチ配列のときに設定した、隣合うピッチ比に関する制約は省略される。

【0088】ここで、目的関数OBJ、制約条件J、設計変数は、次の通りである。

- ・ 目的関数OBJ : 音質に対応するタイヤ騒音性能評価用物理量 (上記実施の形態と同様に、音響心理パラメータであるトナリティK、及びフラクチュエーション・ストレンクスF)
- ・ 制約条件 : ・ 各階段に配置されるピッチ数が少なくとも1以上  
                   ・ 最大ピッチ長の比  $\alpha_{\max} = 11.0$   
                   ・ 最小ピッチ長の比  $\alpha_{\min} = 7.0$   
                   但し、 $P_i$  : ピッチ長 ( $i = 1, 2, \dots, N$ )
- ・ 設計変数 : 各階段に配置されるピッチの数 (H個)

【0089】次のステップ202では、タイヤの周に含まれる山の数Cを設定する。本実施の形態では、この山の数Cとして、1～9までの値を順に設定して以下を処理する。次のステップ204では、上記式(8)に基づいてピッチ比の数M及び山の数Cから演算される階段数Hがピッチの総数Nより小さいか否かを判断し、肯定判断のとき、ステップ206へ進む。

【0090】ステップ206では、擬似乱数アルゴリズムによって、 $2 \cdot C \cdot (M-1)$  個の階段の各々に含まれるピッチの数 $U_j$  ( $j: 1 \sim 2 \cdot C \cdot (M-1)$ ) を決定する。すなわち、 $2 \cdot C \cdot (M-1)$  個の階段を1～9までの自然数に対応させ、擬似乱数アルゴリズムによって配列を生成し、配列値である自然数の各桁に対応して階段の各々に含まれるピッチの数 $U_j$  が表現されるピッチ配列Vを1つ生成して、初期値とする。図15には、山の数Cが2つのときを例に、上記のようにして決定された山型ピッチ配列におけるピッチの大きさと階段に含まれるピッチの数との関係を示した。図中、階段部分に下線を付した数字は、階段部分に含まれるピッチの数 $U_j$  を示している。

【0091】次のステップ208では、図14に示した最適化ルーチンによって初期値として選択された山型ピッチ配列を最適化する。図14の最適化ルーチンのステップ232では、初期値として選択された山型ピッチ配列について決定された目的関数OBJの初期値OBJ<sub>0</sub>を演算する。次のステップ234では、山型ピッチ配列の何れか2つの階段部分についてピッチの数を増減する。例えば、山の数Cが2つでかつ、小ピッチの階段部分22のピッチの数 $U_j$ が3、中ピッチの階段部分24のピッチの数 $U_j$ が2、大ピッチの階段部分26のピッチの数 $U_j$ が3の山型ピッチ配列が初期値として選択された場合に(図15参照)、図16に2重下線で示したように、小ピッチの階段部分22のピッチの数を1減少して中ピッチの階段部分24のピッチの数を1増加させる。また、中ピッチの階段部分24のピッチの数を1減少して大ピッチの階段部分26のピッチの数を1する例は、図17に2重下線で示した。

【0092】このようにピッチの数を増減した山型ピッチ配列における目的関数の値をステップ236において演算する。この階段部分間のピッチ数の交換が全ての階段部分について終了するまで上記処理を繰り返し(ステップ238)、目的関数OBJの初期値OBJ<sub>0</sub>と対比

して求められた複数の目的関数の値の最小の値である山型ピッチ配列をステップ240において選択する。ステップ242では、目的関数OBJの初期値OBJ<sub>0</sub>と対比することによって目的関数の値が収束したか否かを判断し、収束していない場合にはステップ246においてステップ240で選択されたピッチ配列を初期のピッチ配列に置換してステップ232へ戻り、目的関数の値が収束するまで、上記処理を実行する。目的関数の値が収束すると、ステップ244において、目的関数の値が収束した時点での山型ピッチ配列を最適なピッチ配列として決定する。

【0093】次に、上記実施の形態と同様に、最初と最後のピッチ比 $r_1$ 、 $r_M$ の値を保持したまま、目的関数が最小になるように、その間のピッチ比 $r_2 \sim r_{M-1}$ の値を最適化し(ステップ110、図10)、ピッチ配列Vを100個生成したか否かを判断し、100個生成されたピッチ配列Vから目的関数が最低であるピッチ配列及びピッチ比を選択する(ステップ112、114)。

【0094】次のステップ210では、山の数Cの各々について、最適化されたピッチ比及びピッチ配列が演算されたか否かを判断し、否定判断の場合には、ステップ202へ戻り、全ての山の数Cについて最適化されたピッチ比及びピッチ配列の演算が終了するまで上記処理を繰り返す。

【0095】次のステップ116では、全ピッチ比の数Mについて上記処理が終了したか否かを判断し、否定判断の場合には、ステップ102へ戻り、全ピッチ比の数Mについてピッチ比及びピッチ配列の最適化が終了するまで上記処理を繰り返す。次のステップ212では、山の数Cを含めてピッチ比の数毎に最適化されたピッチ比及びピッチ配列から目的関数が最低であるピッチ比及びピッチ配列を選択し、本ルーチンを終了する。

【0096】このように、本実施の形態では、予め定められた山型ピッチ配列について各々に対応した複数の最適なピッチ配列を求め、この複数のピッチ配列から音質を考慮し、発生ノイズの音色の目立ちやすさ及びうなり感が抑制される最適なピッチ配列を選択している。このため、外観的な美観を保持しつつ静寂なタイヤを提供するためのピッチ比及びピッチ配列を、少ない演算で確度よく、求めることができ、静寂かつ見栄えのよいタイヤを設計することができる。

【0097】次に、第3実施の形態について説明する。

本実施の形態は、ピッチ配列を遺伝的にアルゴリズムによって設計するものである。図18は、第3実施の形態のプログラムの処理ルーチンを示すものである。ステップ300では、N個のピッチ配列を疑似乱数に基づいて求める。なお、Nは予め使用者がインプットする。本実施の形態で用いる基本モデルは、第1実施の形態と同一である。

【0098】次のステップ302では、タイヤ性能評価用物理量を表す目的関数、隣り合うピッチ長の比、最大\*

・目的関数OBJ：音質に対応するタイヤ騒音性能評価用物理量（上記実施の形態と同様に、音響心理パラメータであるトナリティK、及びフラクチュエーション・ストレングスF）

・制約条件G：山型配列か否か、  
最大ピッチ長の比=11.0  
最小ピッチ長の比=7.0  
山型配列でない場合、隣り合うピッチ比の制約として、  
 $\alpha_{min} \leq P_i / P_{i+1} \leq \alpha_{max}$   
但し、 $\alpha_{min}$ 、 $\alpha_{max}$ は与えられる定数で、例えば、  
 $\alpha_{min} = 1/1.45$ 、 $\alpha_{max} = 1.45$   
ここで、 $P_i$ はピッチ長である。

【0100】これをN回繰り返すことにより、目的関数OBJ、制約条件G及びN個のタイヤモデルの各々の設計変数 $r_{ij}$ （ $j=1, 2, \dots, N$ ）を決定した後、図18のステップ304において、N個のタイヤモデルの各々の設計変数 $r_{ij}$ の各々の目的関数OBJ<sub>j</sub>及び制約条件G<sub>j</sub>を演算する。

【0101】次のステップ306では、ステップ304で求めたN個のピッチ配列の各々の目的関数OBJ<sub>j</sub>及

$$\Phi_j = OBJ_j + \gamma \cdot \max(G_j, 0)$$

$$F_j = -\Phi_j \quad \dots (9)$$

または、

$$F_j = 1 / \Phi_j$$

または、

$$F_j = -a \cdot \Phi_j + b$$

$$\text{但し、} a = \frac{\Phi_{avg} \cdot (c - 1)}{(\Phi_{avg} - \Phi_{min})}$$

$$b = \frac{\Phi_{avg} \cdot (c - \Phi_{min})}{(\Phi_{avg} - \Phi_{min})}$$

$$\Phi_{avg} = \frac{\sum_{j=1}^N \Phi_j}{N}$$

\*ピッチ長と最小ピッチ長の比、各ピッチ長に属するピッチの数の連続する同一ピッチ長の数、及び性能評価物理量の少なくとも1つを制約する制約条件及びN個のピッチ配列を決定する設計変数を決定する。本実施の形態では、騒音性能、すなわち音質性能が良好なピッチ配列を設計するため、目的関数OBJ及び制約条件Gを次のように定めている。

【0099】

び制約条件G<sub>j</sub>を用いて、N個のピッチ配列の各々の適応関数F<sub>j</sub>を以下の式(9)に従って演算する。本実施の形態では、例えば区分スペクトル偏差を最小にするため、適応関数による値(適応度)は、区分スペクトル偏差が小さくなると大きくなる。

【0102】

【数5】



【0103】c:定数

$\gamma$ :ペナルティ係数

$\Phi_{\min} = \min(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N)$

$\Phi_J$ :N個のピッチ配列のJ番目のピッチ配列のペナルティ関数(J=1, 2, 3, ..., N)

なお、c及び $\gamma$ は使用者が予め入力する。

【0104】次のステップ308では、N個のピッチ配列の中から交叉させるピッチ配列を2個選択する。選択方法としては、一般に知られている適応度比例戦略を用い、N個のピッチ配列のある個体eが各々選択で選ばれる確率 $P_e$ は以下の式で表わされる。

【0105】

【数6】

$$P_e = \frac{F_e}{\sum_{j=1}^N F_j}$$

【0106】但し、 $F_e$ :N個のピッチ配列の中のある個体eの適応関数

$F_J$ :N個のピッチ配列のJ番目の適応関数

J=1, 2, 3, ..., N

上記実施の形態では、選択方法として適応度比例戦略を用いたが、この他、遺伝的アルゴリズム(北野宏明編)に示されている様な、期待値戦略、ランク戦略、エリート保存戦略、トーナメント選択戦略、あるいはGENITORアルゴリズム等を用いてもよい。

【0107】次のステップ310では、選択された2個のピッチ配列を、使用者が予め入力した確率Tによって交叉させるか否かを決定する。ここでいう、交叉とは、後述するように、2個のピッチ配列の要素の一部を交換することをいう。否定判定で交叉させない場合は、ステップ312において現在の2個のピッチ配列をそのままの状態ですてップ316へ進む。一方、肯定判定で交叉\*

〔親ピッチ配列〕

親①:1112233322211222332222

親②:1122233332111122333222

【0111】次に、例えば、乱数により、7番目の位置で交叉させると決定されたときには、親のピッチ配列から、次に示す〔ピッチ配列の交叉過程〕のように子孫配※40

〔ピッチ配列の交叉過程〕

親①:1112233/322211222332222

親②:1122233/332111122333222

子孫①:1112233/332111122333222

子孫②:1122233/322211222332222

【0113】すなわち、親①の交叉点前半の配列部分と、親②の交叉点後半の配列部分とを繋げて、親①を基準として交叉させた後のピッチ配列(以下、子孫①という)を生成する。同様に、親②の交叉点前半の配列部分

\*させる場合には、ステップ314において後述するように2個のピッチ配列を交叉させる。

【0108】2個のピッチ配列の交叉は、図19に示す交叉ルーチンによって行われる。先ず、上記のステップ308において選択された2個のピッチ配列をピッチ配列a及びピッチ配列bとすると共に、各々のピッチ配列a, bの設計変数について並びを含む設計変数ベクトル $V_r$ で表し、ピッチ配列aの設計変数ベクトルを

$V_r^a = (r_1^a, r_2^a, \dots, r_i^a, \dots, r_{n-1}^a)$ 、

ピッチ配列bの設計変数ベクトルを

$V_r^b = (r_1^b, r_2^b, \dots, r_i^b, \dots, r_{n-1}^b)$

とする。先ず、図19のステップ350では、予め定めた規則に従い乱数を生成し、この乱数に応じてピッチ配列a, bの設計変数ベクトルに関する交叉場所iを決定する。次のステップ352では、決定された交叉場所iに基づいて、新しい設計変数 $r_i^a$ ,  $r_i^b$ を求める。

この新しい設計変数 $r_i^a$ ,  $r_i^b$ の決定を図20及び図21を用いて詳細に説明する。

【0109】図20の例のピッチ配列は山型ピッチ配列であり、ピッチ比の大きさが大中小の3種類からなり、ピッチの数が22個でかつ、小ピッチ比から大ピッチ比へ、大ピッチ比から小ピッチ比へ順に変化している。また、山型ピッチ配列中にある大ピッチ比のピッチが連続する1つの群を1つの山とし、山の数が2つである。図中、階段部分に下線を付した数字は、階段部分に含まれるピッチの数を示している。ピッチの大きさについて、大ピッチ比を3、中ピッチ比を2、小ピッチ比を1とすると、図20のピッチ配列a, b(以下、親①、親②という。)は、以下に示す〔親ピッチ配列〕のように表せる。

【0110】

※列が生成される。

【0112】

と、親①の後半の配列部分を繋げて、親②を基準として交叉させた後のピッチ配列(以下、子孫②という。)を生成する。この場合、図から理解されるように子孫①、子孫②のピッチ配列について共に山型ピッチ配列の性質

を有している。

【0114】しかしながら、図21に示すように、交叉させる位置が中ピッチ比または小ピッチ比である場合には、子孫②は山型配列の性質を有するが、子孫①では山型ピッチ配列の性質を有しないことになる。従って、常時、山型ピッチ配列を得るようにするためには、制約条件Gが山型ピッチ配列でない場合に、正の値を有するように予め設定すれば、山型ピッチ配列以外のピッチ配列が支配的になることを防ぐことができる。

【0115】このようにして、 $r_i^a$ 、 $r_i^b$ を求めた後、ステップ354で新しい設計変数の並びである設計変数ベクトル $Vr^a$ 、 $r_i^b$ は以下のように求められる。

$$Vr^a = (r_1^a, r_2^a, \dots, r_i^a, r_{i+1}^b, \dots, r_{n-1}^b)$$

$$Vr^b = (r_1^b, r_2^b, \dots, r_i^b, r_{i+1}^a, \dots, r_{n-1}^a)$$

【0116】なお、上記例では交叉場所*i*は1ヶ所であるが、この他に遺伝的アルゴリズム（北野 宏明 編）に示されているような、複数点交叉または一様交叉等を用いてもよい。

【0117】このような交叉によって新規な2個のピッチ配列を生成した後、図18のステップ316では、使用者が予め入力した確率*S*で、突然変異させるか否かを決定する。この突然変異は、後述するように、設計変数の一部を微小に変更することをいい、最適な設計変数となりうる母集団に当該ピッチ配列を含む確度を高くするためである。ステップ316で、否定判定で突然変異させない場合には、ステップ318では現在の2個のピッチ配列のまま、次のステップ322へ進む。肯定判定で突然変異させる場合には、次のステップ320で以下のように突然変異処理を行う。

【0118】この突然変異は、図22に示す突然変異ルーチンによって行われる。まず、ステップ356では乱数を生成し、乱数によって突然変異の場所*i*を決定する。次に、ステップ358において、新しい設計変数 $r_i'$ を乱数を用いて与えられたピッチ比の中の整数に変更する。このようにして、設計変数 $r_i'$ を求めた後、ステップ360で求められる、新しい設計変数の並びである設計変数ベクトル $Vr'$ は以下ようになる。

$$Vr' = (r_1, r_2, \dots, r_i', r_{i+1}, \dots, r_{n-1})$$

このようにして、新たに生成された2個のピッチ配列について、目的関数の値と制約条件の値を図18のステップ322で演算する。次のステップ324では、得られた目的関数の値と制約条件の値から前記と同様に式(9)を用いて適応関数を演算する。

【0120】次のステップ326では、上記2個のピッチ配列を保存する。次のステップ328では、ステップ326で保存したピッチ配列の数が、*N*個に達したか否

かを判断し、*N*個に達していない場合は、*N*個になるまでステップ308からステップ328を繰り返し実行する。一方、ピッチ配列の数が*N*個に達した場合には、ステップ330で収束判定をし、収束していない場合には、*N*個のピッチ配列をステップ326で保存されたピッチ配列に更新し、ステップ308からステップ330を繰り返し実行する。一方、ステップ330で収束したと判断された場合には、*N*個のピッチ配列の中で制約条件を略満たしながら目的関数の値が最小となるピッチ配列の設計変数の値をもって制約条件を略満たしながら目的関数を最大にする設計変数の値とし、ステップ332においてこの設計変数の値を用いてピッチ配列を決定する。

【0121】なお、ステップ330の収束判定は以下の条件のいずれかを満足したら収束とみなす。

- 【0122】1) 世代数が*M*個に達した
- 2) 一番目的関数の値が大きい線列の数が全体の*q*%以上になった
- 3) 最大の目的関数の値が、続く*p*回の世代で更新されない。

【0123】但し、*M*、*q*、*p*は使用者が予め入力しておく。

【0124】以上、本発明の実施例について説明したが、本発明の実施例には特許請求の範囲に記載した要件以外に、次のような各種の技術事項の実施態様を有するものである。

【0125】前記請求項1のタイヤのピッチ配列決定方法において、前記ステップ(a)では、複数個のピッチ配列基本モデルからなる選択対象集団を定め、該選択対象集団の各ピッチ配列基本モデルについて、前記目的関数、前記設計変数、及び前記制約条件を定めると共に、前記目的関数及び前記制約条件から評価できる適応関数を定め、前記ステップ(b)では、適応関数に基づいて前記選択対象集団から2つのピッチ配列基本モデルを選択し、所定の確率で各ピッチ配列基本モデルの設計変数を交叉させて新規のピッチ配列モデルを生成すること及び少なくとも一方のピッチ配列基本モデルの設計変数の一部を変更させて新規のピッチ配列モデルを生成することの少なくとも一方を行い、設計変数を変化させたピッチ配列モデルの目的関数、制約条件及び適応関数を求めて該ピッチ配列モデル及び設計変数を変化させなかったピッチ配列モデルを保存しかつ保存したピッチ配列モデルが所定数になるまで繰り返し、保存した所定数のピッチ配列モデルからなる新規集団が所定の収束条件を満たすか否かを判断し、収束条件を満たさないときには該新規集団を前記選択対象集団として該選択対象集団が所定の収束条件を満たすまで繰り返すと共に、該所定の収束条件を満たしたときに保存した所定数のピッチ配列モデルのなかで制約条件を考慮しながら目的関数の最適値を与える設計変数の値を求める。

【0126】なお、前記初期配列は、ピッチの大きさが段階状に変化するように順にピッチが並べられると共に各階位に含まれるピッチの数が予め定められ、前記ステップ(b)では異なる階位間で該階位に含まれるピッチの数を変化させ、前記ステップ(c)では目的関数の最適値を与える各階位が含むピッチの数に基づいてタイヤのピッチ配列を求めることができる。

【0127】上記の実施態様によれば、具体的に、前記ステップ(a)では、複数個のピッチ配列からなる選択対象集団を定め、該選択対象集団の各ピッチ配列について、タイヤ性能評価用物理量を表す目的関数、ピッチ配列を決定する設計変数、隣り合うピッチ長さの比、最大ピッチ長と最小ピッチ長の比、各ピッチ長に属するピッチの数、連続する同一ピッチ長の数及び性能評価用物理量の少なくとも1つを制約する制約条件、及び目的関数及び制約条件から評価できる適応関数を定め、前記ステップ(b)では、適応関数に基づいて前記選択対象集団から2つのピッチ配列を選択し、所定の確率で各ピッチ配列の設計変数を交叉させて新規のピッチ配列を生成すること及び少なくとも一方のピッチ配列の設計変数の一部を変更(突然変異)させて新規のピッチ配列を生成することの少なくとも一方を行い、設計変数を変化させたピッチ配列の目的関数、制約条件及び適応関数を求めて該ピッチ配列及び設計変数を変化させなかったピッチ配列を保存しかつ保存したピッチ配列が所定数になるまで繰り返し、保存した所定数のピッチ配列からなる新規集団が所定の収束条件を満たすか否かを判断し、収束条件を満たさないときには該新規集団を前記選択対象集団として該選択対象集団が所定の収束条件を満たすまで繰り返すと共に、該所定の収束条件を満たしたときに保存した所定数のピッチ配列のなかで制約条件を考慮しながら目的関数の最適値を与える設計変数の値を求める。

【0128】このステップ(b)では、設計変数を変化させたピッチ配列について、設計変数の単位変化量に対する目的関数の変化量の割合である目的関数の感度及び設計変数の単位変化量に対する制約条件の変化量の割合である制約条件の感度に基づいて制約条件を考慮しながら目的関数の最適値を与える設計変数の変化量を予測すると共に、設計変数を予測量に相当する量変化させたときの目的関数の値及び設計変数を予測量に相当する量変化させたときの制約条件の値を演算し、目的関数の値及び制約条件の値から適応関数を求めて該ピッチ配列及び設計変数を変化させなかったピッチ配列を保存しかつ保存したピッチ配列が所定数になるまで繰り返すことができる。

【0129】上記のステップ(b)では、設計変数の単位変化量に対する目的関数の変化量の割合である目的関数の感度及び設計変数の単位変化量に対する制約条件の変化量の割合である制約条件の感度に基づいて制約条件を考慮しながら目的関数の最適値を与える設計変数の変

化量を予測すると共に、設計変数を予測量に相当する量変化させたときの目的関数の値及び設計変数を予測量に相当する量変化させたときの制約条件の値を演算し、予測値と演算値とに基づいて、制約条件を考慮しながら目的関数の最適値を与える設計変数の値を求めることができる。

【0130】また、設計変数は、ピッチ配列を表す関数とすることができる。設計変数としてピッチ配列を表す関数を定めたときには、ステップ(b)で設計変数を変化させたときにピッチ長が所定範囲になるように制約条件を定めてステップ(b)を実行することにより、制約条件を考慮しながら目的関数の最適値を与える設計変数の値を求めればよい。

【0131】また、ピッチの大きさが段階状に変化するように順にピッチが並べられると共に各階位に含まれるピッチの数が予め定められた初期配列毎に、ステップ(a)ではタイヤの各ピッチから発生する騒音パルスのモデル、タイヤ騒音性能評価用物理量を表す目的関数を定め、ステップ(b)では異なる階位間で該階位に含まれるピッチの数を変化させ、ステップ(c)では目的関数の最適値を与える各階位が含むピッチの数に基づいてタイヤのピッチ配列を求める、各ステップを繰り返し、複数の初期配列に対応した複数のピッチ配列を求め、求められた複数のピッチ配列から目的関数の最適値が最適となるピッチ配列を選択することもできる。

【0132】また、トレッドに形成されるピッチは、規則性を有する方が外観的に見栄えが良い。そこで、前記ステップ(a)では、タイヤの各ピッチから発生する騒音パルスのモデル、及びタイヤ騒音評価用物理量を表す目的関数を定める。このタイヤの騒音パルスのモデルには、路面とタイヤのピッチから発生する音のレベルとピッチ長等を対応させたモデルを適用できる。

【0133】次のステップ(b)では、異なる階位間で該階位に含まれるピッチの数を変化させる。例えば、隣接する階位間で一方のピッチの数を増加させると共に他方のピッチの数を減少させることによってピッチの数を変更する。この場合、ピッチ配列中に含まれるピッチの総数は変化しない。

【0134】そして、ステップ(c)では、目的関数の最適値を与える各階位が含むピッチの数に基づいてタイヤの騒音パルスのモデル等を変更することによりピッチ配列を求める。

【0135】この各ステップを、ピッチの大きさが段階状に変化するように順にピッチが並べられると共に各階位に含まれるピッチの数が予め定められた初期配列毎に、例えば各々の階位に含まれるピッチの数が設定されかつ小ピッチから大ピッチまたは大ピッチから小ピッチに大きさが段階状に変化するように順にピッチを並べたタイヤのピッチ配列の初期配列毎に繰り返す。これによって、複数の初期配列に対応した複数のピッチ配列が求

められる。この求められた複数のピッチ配列から目的関数の最適値が最適となるピッチ配列を選択することによって複数ある最適なピッチ配列から更に最適なタイヤのピッチ配列を決定できる。この決定されたピッチ配列に基づいてタイヤを設計することにより、外観的な美観を保持しつつ静寂なタイヤを提供することができる。

#### 【0136】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、制約条件を考慮し音質に対応する目的関数の最適値を与える設計変数を求め、この設計変数からピッチ配列等を決定してタイヤを設計しているの、ベストモードのタイヤ設計を行うことができる、という効果が得られる。

【0137】本発明の決定方法に基づいて決定されたピッチ配列及びピッチ比からタイヤを設計・開発した場合、従来の思考錯誤を基本とした設計・開発とことなり、コンピュータ演算を主体にしてベストモードの設計から設計されたタイヤの騒音性能評価までが、ある程度可能となり、著しい効率化を達成でき、開発にかかるコストが削減可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態に使用されるパーソナルコンピュータの概略図である。

【図2】実車計器音質評価法の概略構成を示すブロック図である。

【図3】タイヤを車両に装着し走行させたときの音の周波数特性を示し、(1)は左耳の近傍位置、(2)は右耳の近傍位置の結果を示したものである。

【図4】フィーリング評点と、音圧レベル及び音響心理パラメータとの対応関係を示す線図である。

【図5】タイヤのピッチ配列を音化するためのパルス列を説明するための説明図である。

【図6】トナリティを目的関数としたときの最適化を説明するための線図である。

【図7】タイヤ1回転のピッチ配列に対応された区分スペクトルを説明するための線図である。

【図8】本発明の第1実施の形態の処理ルーチンを示す流れ図である。

【図9】図8のステップ106のピッチ配列の最適化ル

ーチンを示す流れ図である。

【図10】図8のステップ110のピッチ比の最適化ルーチンを示す流れ図である。

【図11】フィーリング評点と演算値との対応関係を示す線図であり、(1)は演算による推定評点、(2)はトナリティ、(3)はフラクチュエーション・ストレングスの対応関係を示している。

【図12】音圧レベルで最適化したピッチ配列及び第1実施の形態の最適化で定まるピッチ配列の、音響心理学的な感覚尺度の関係を示す線図であり、(1)はトナリティ、(2)はフラクチュエーション・ストレングスの関係を示している。

【図13】本発明の第2実施の形態の処理ルーチンを示す流れ図である。

【図14】図13のステップ208のピッチ配列の最適化ルーチンを示す流れ図である。

【図15】山型ピッチ配列を示すイメージ図である。

【図16】山型ピッチ配列を最適化する過程を説明するためのイメージ図である。

【図17】山型ピッチ配列を最適化する過程を説明するための他の例を示すイメージ図である。

【図18】本発明の第3実施の形態の処理ルーチンを示す流れ図である。

【図19】交叉処理ルーチンを示す流れ図である。

【図20】交叉処理される過程の山型ピッチ配列を示すイメージ図であり、(a)はピッチ配列aを示し、(b)はピッチ配列a、bを親とし交叉後のピッチ配列を示し、(c)はピッチ配列bを示し、(d)はピッチ配列a、bを親とし交叉後のピッチ配列を示す。

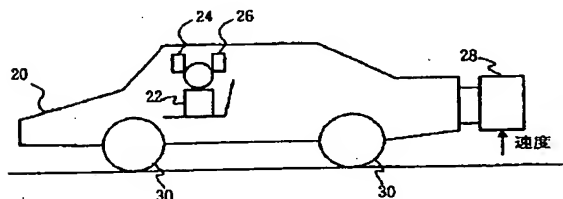
【図21】図20と異なる山型ピッチ配列について、交叉処理される過程の山型ピッチ配列を示すイメージ図である。

【図22】突然変異処理ルーチンを示す流れ図である。

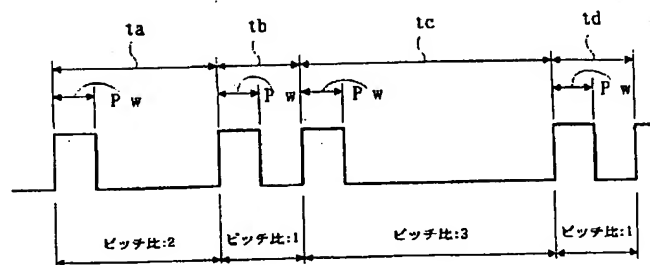
#### 【符号の説明】

- 10 キーボード
- 12 コンピュータ本体
- 14 CRT

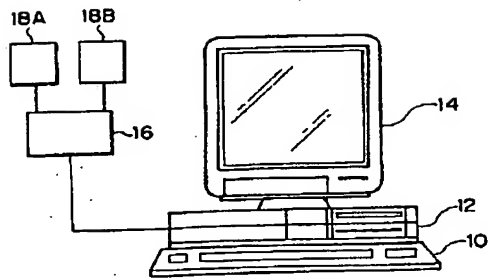
【図2】



【図5】

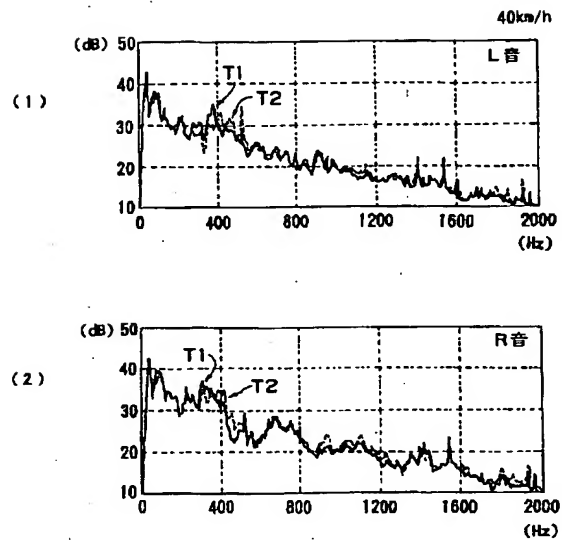


【図1】



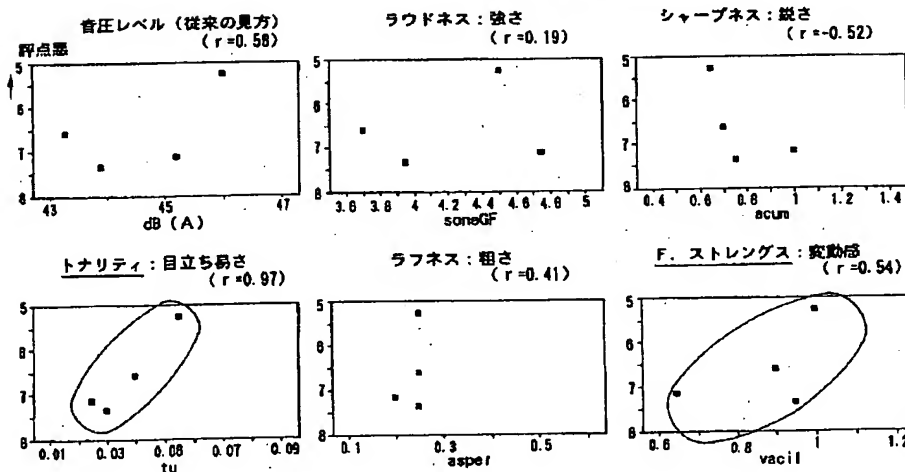
- 10 キーボード  
12 コンピュータ本体  
14 CRT

【図3】

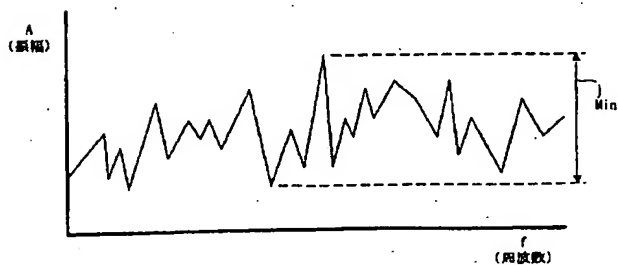


【図4】

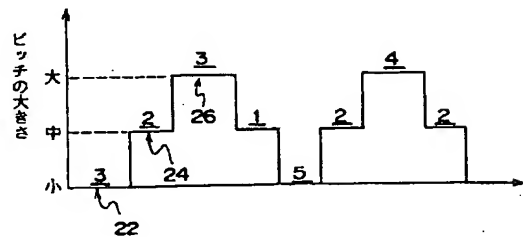
実車走行時間内平均値 (60~38km/h)



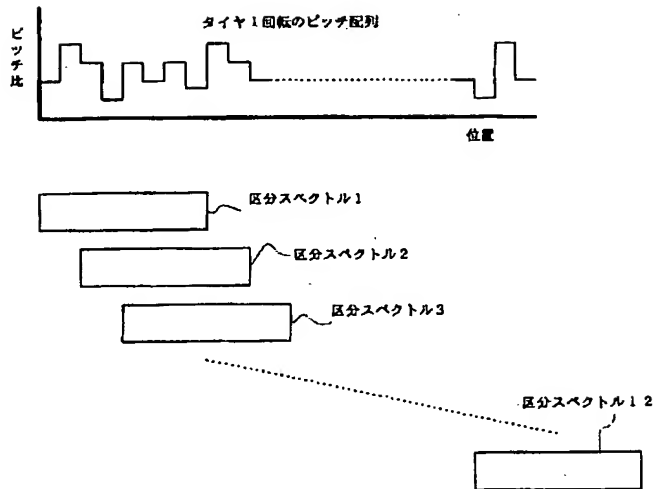
【図6】



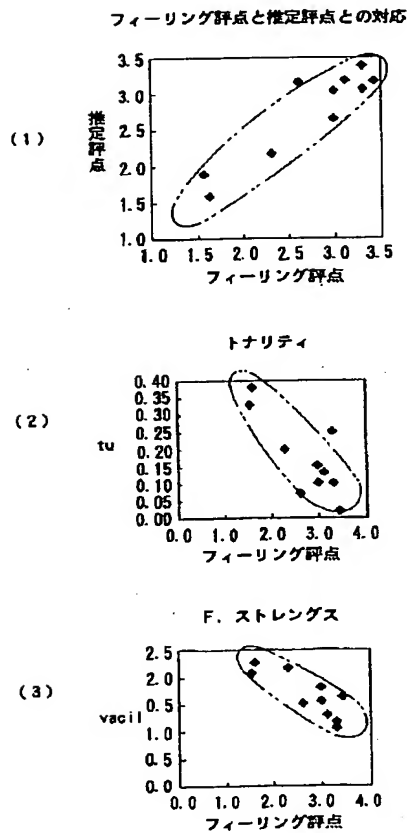
【図15】



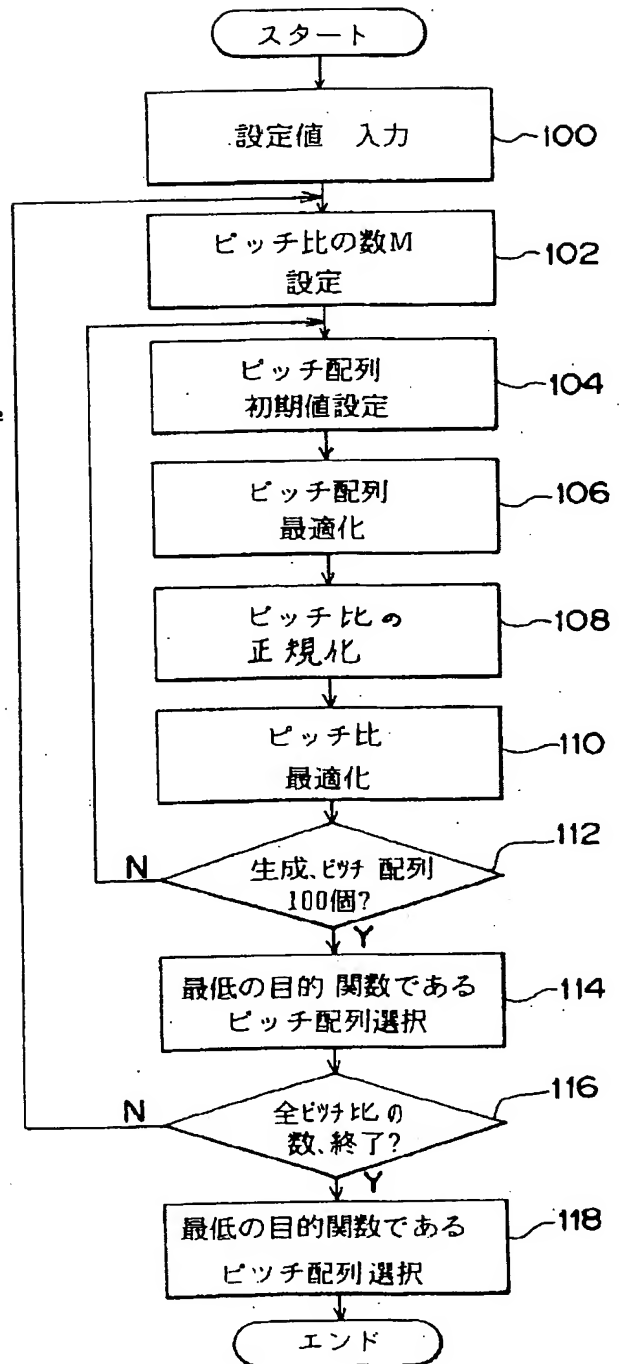
【図 7】



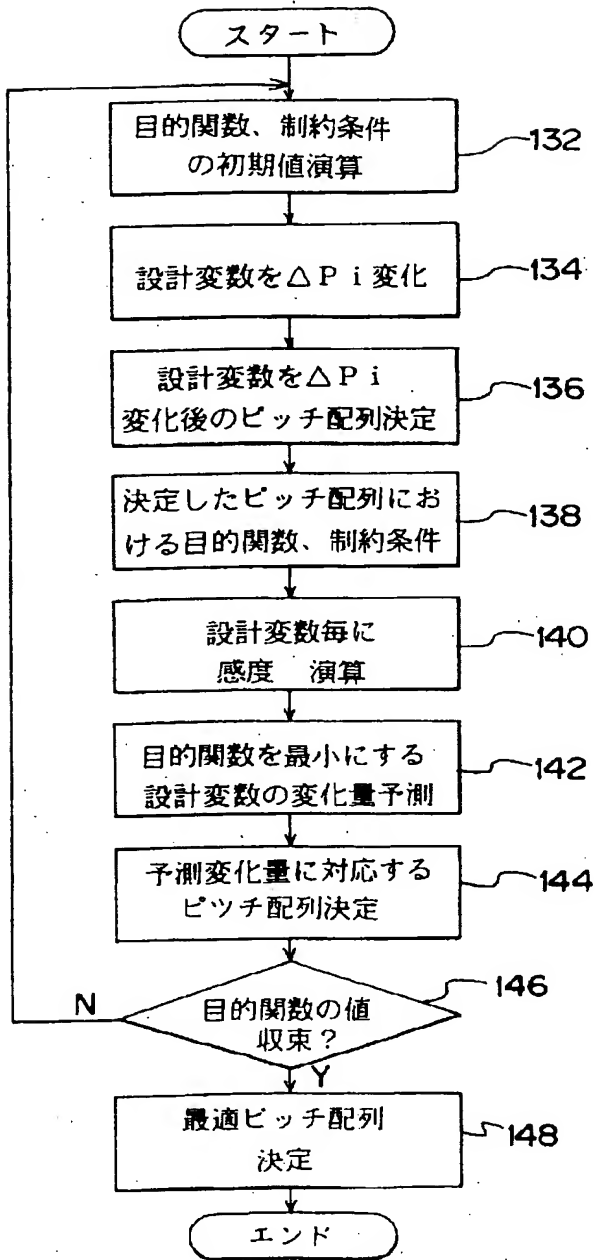
【図 11】



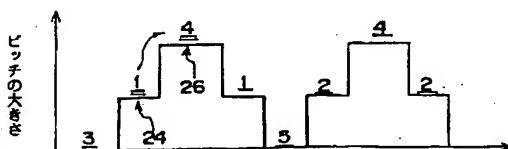
【図 8】



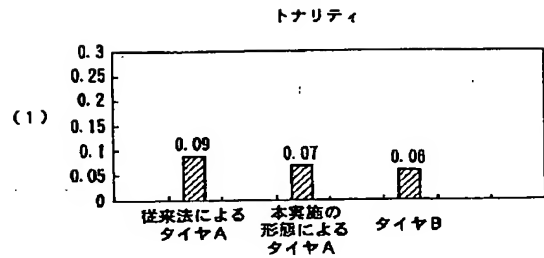
【図 9】



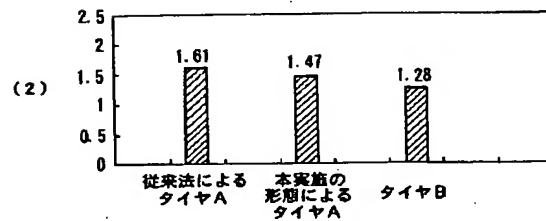
【図 17】



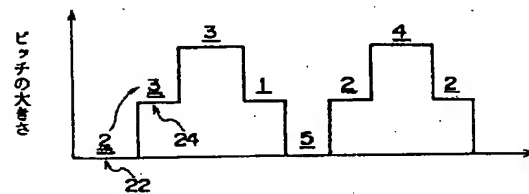
【図 12】



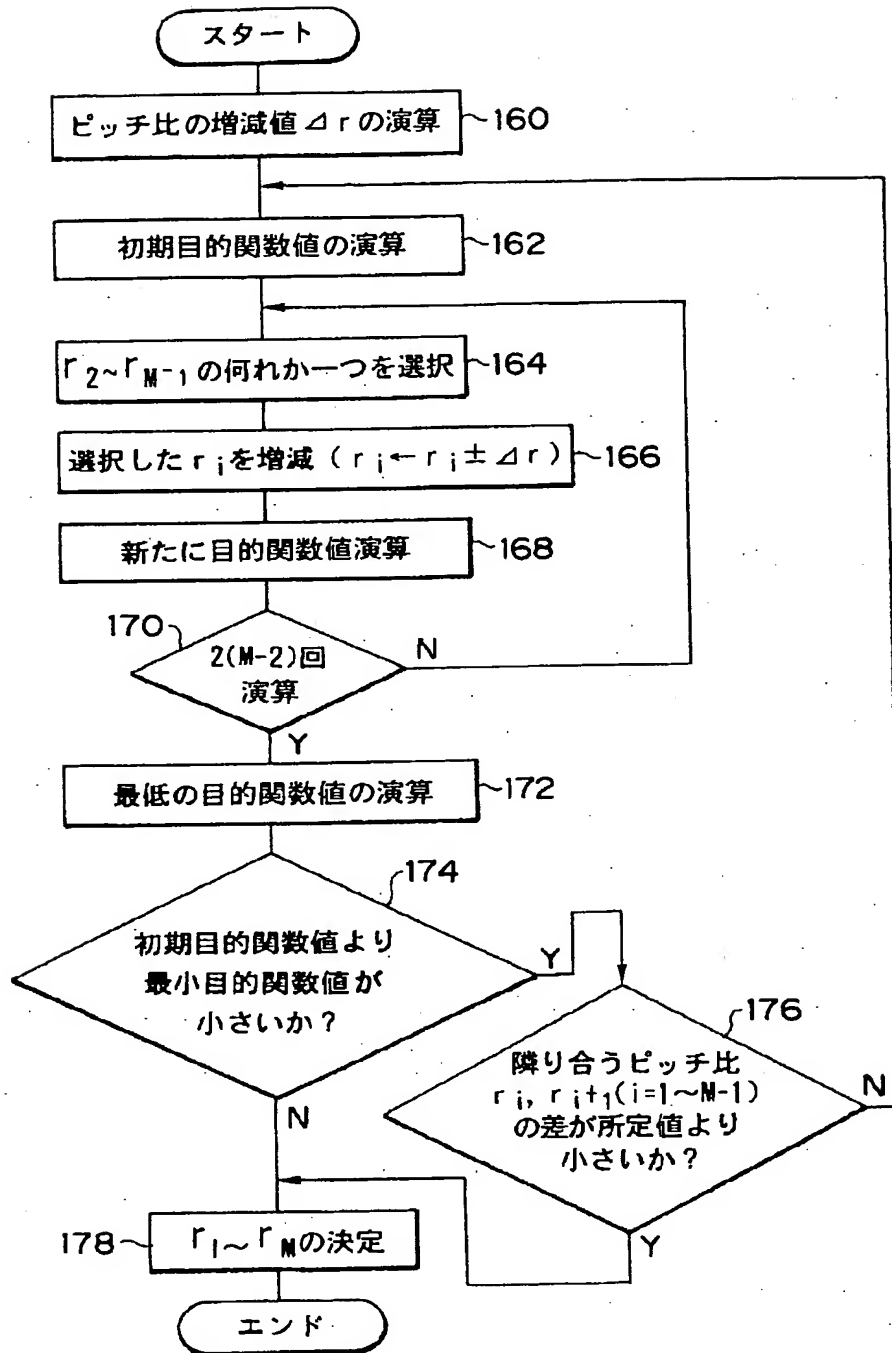
F. ストレングス



【図 16】

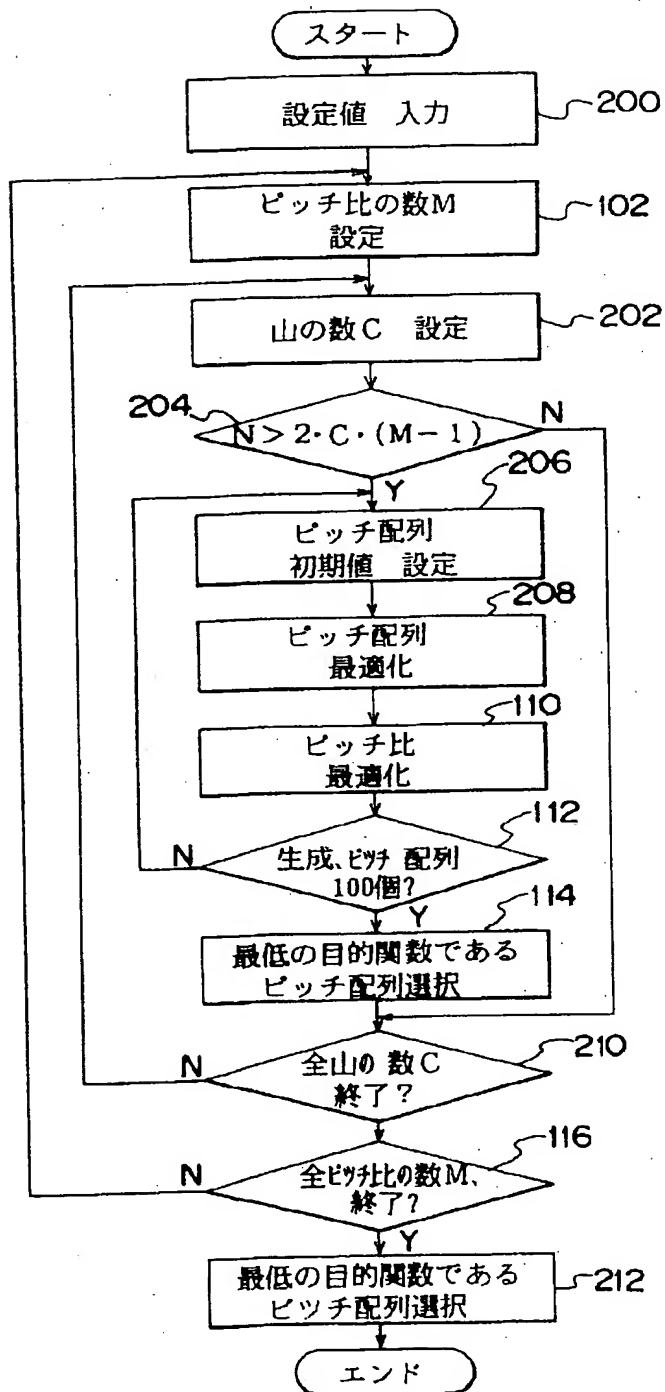


【図10】

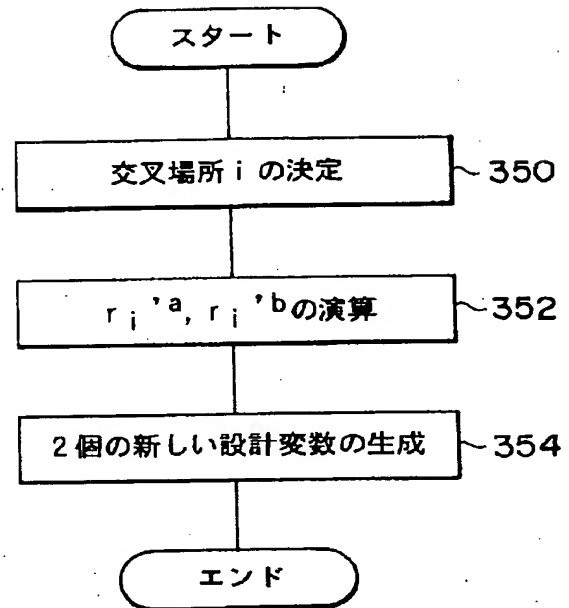




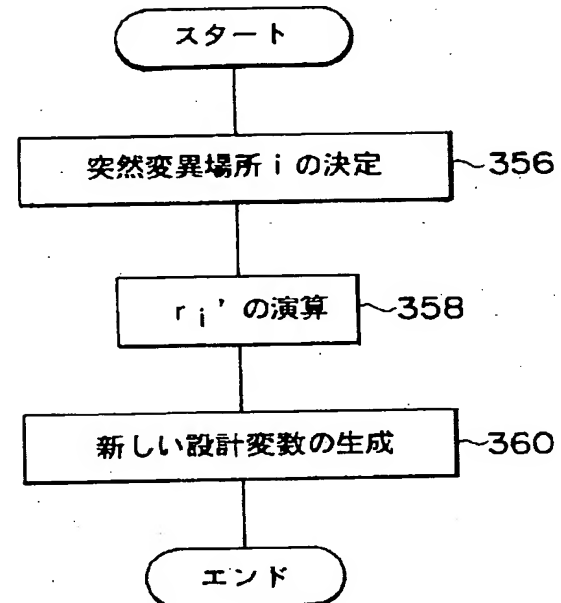
【図13】



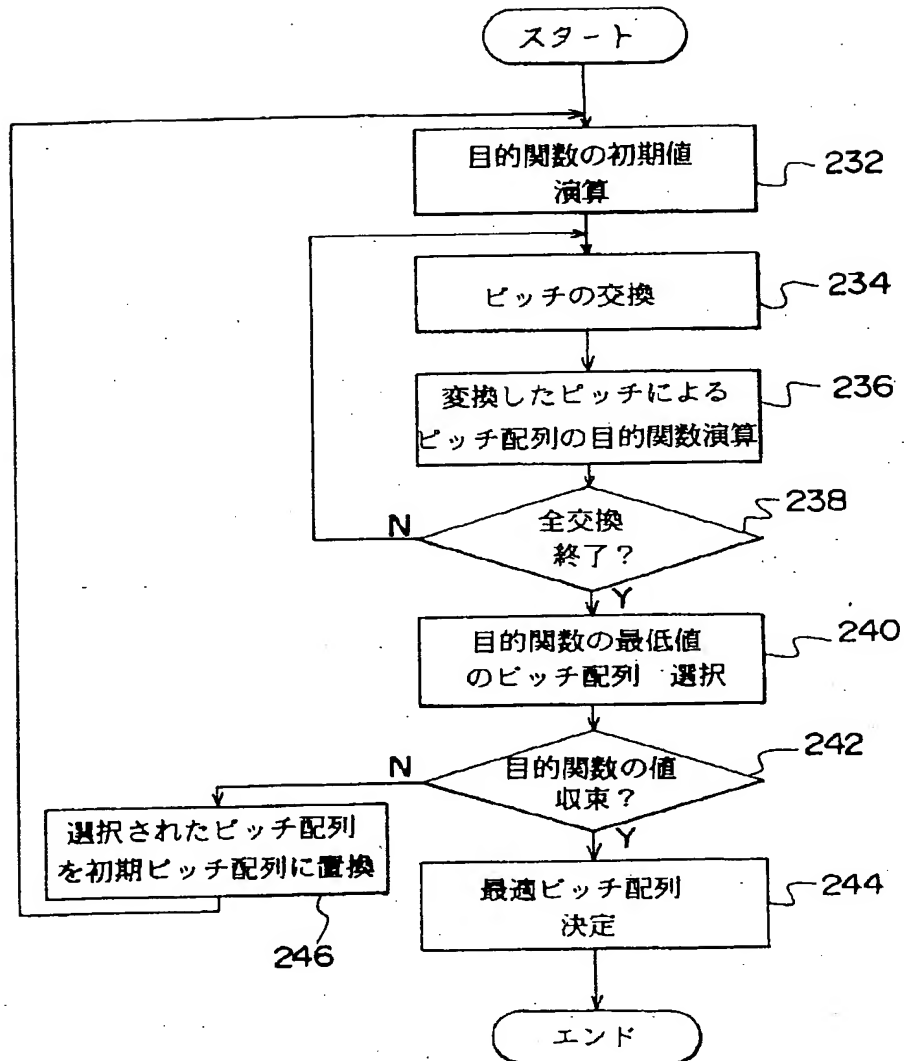
【図19】



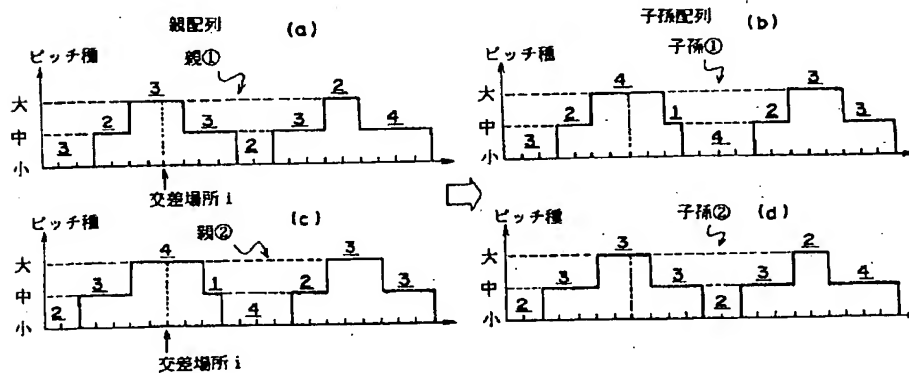
【図22】



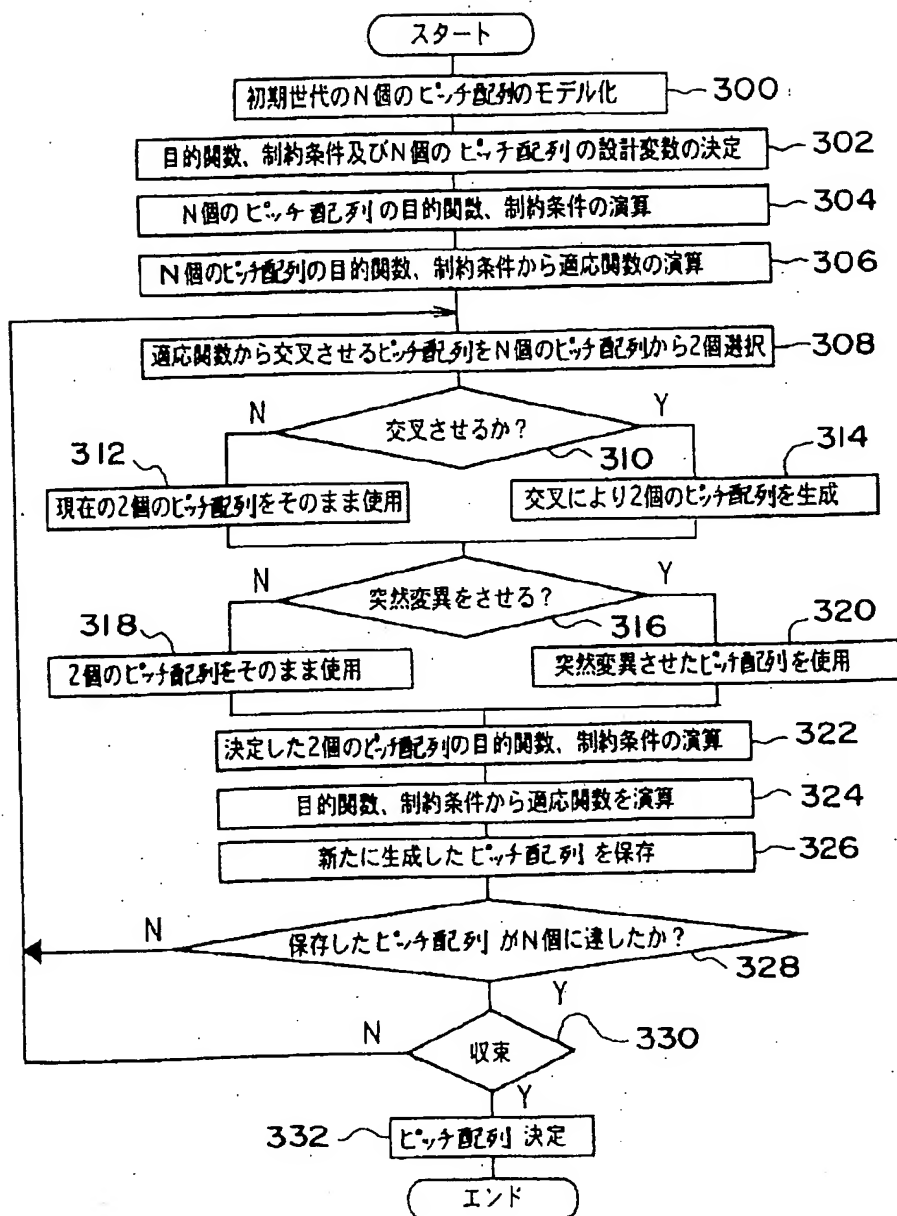
【図14】



【図20】



【図18】



【図21】

